

REVISTA **cartográfica**

Número 107 / julio-diciembre 2023



INSTITUTO PANAMERICANO DE
GEOGRAFÍA E HISTORIA

**AUTORIDADES DEL
INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFÍA E HISTORIA
2022-2025**

PRESIDENTE Dra. Patricia Solís (Estados Unidos)
VICEPRESIDENTE Lic. Rocsanda Pahola Méndez Mata (Guatemala)

SECRETARIO GENERAL
Mtro. Antonio Campuzano Rosales
México

COMISIÓN DE CARTOGRAFÍA
(Costa Rica)

Presidente:
MSc. Max Lobo Hernández

Vicepresidente:
MSc. Christian Núñez Solís

COMISIÓN DE GEOGRAFÍA
(Chile)

Presidente:
Dr. Hermann Manríquez Tirado

Vicepresidente:
Dr. Rodrigo Barriga Vargas

COMISIÓN DE HISTORIA
(República Dominicana)

Presidente:
Dr. Filiberto Cruz Sánchez

Vicepresidente:
Dra. Reina Cristina Rosario Fernández

COMISIÓN DE GEOFÍSICA
(Ecuador)

Presidente:
Dr. Mario Calixto Ruiz Romero

Vicepresidente:
Dra. Alexandra Alvarado Cevallos

MIEMBROS NACIONALES DE LA COMISIÓN DE CARTOGRAFÍA

Argentina	Agrim. Sergio Rubén Cimbaro
Belice	
Bolivia	Cap. DIM. Saul Ronald Gutierrez Loza Romero
Brasil	
Chile	Dr. Carlos Mena Frau
Colombia	Ing. Pamela Mayorga Ramos
Costa Rica	MSc. Marta Eugenia Aguilar Varela
Ecuador	Mayor Ricardo D. Coyago
El Salvador	Lic. Edwin Denis Hernandez
Estados Unidos	Eric van Praag
Guatemala	Ing. Marcos Osmundo Sutuc Carrillo
Haití	Prof. David Telcy
Honduras	Dilma Doris Ortega
México	Dr. Enrique Muñoz Goncen
Nicaragua	Ing. Noel Ramírez
Panamá	Félix Sánchez
Paraguay	Cnel. SG Ing. Arturo Aquino
Perú	Tcnl. EP Reynaldo Flores Rivero
Rep. Dominicana	Agrim. Rafael Santiago Hernández Batista
Uruguay	Dr. Carlos López
Venezuela	

REVISTA
cartográfica

número 107 • julio-diciembre 2023



INSTITUTO PANAMERICANO DE
GEOGRAFÍA E HISTORIA

REVISTA cartográfica

Publicación anual fundada en 1952. Desde 2016 publicación semestral

Indizada en Latindex, SciELO, DOAJ y Scopus

Disponible en: PERIÓDICA, Cengage Learning, Ebsco y ProQuest

<https://www.revistasipgh.org/index.php/rcar/Indexada>

La preparación de la *Revista Cartográfica* está a cargo de la editora

Dra. María Ester Gonzalez

Departamento de Geografía, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía

Universidad de Concepción

Victoria 486-490, CP 4030000, Concepción, Chile

Correo electrónico: editor_revista_cartografica@ipgh.org

www.revistasipgh.org/index.php/rcar

Comité Editorial

Dr. Adolfo Quesada-Román, Universidad de Costa Rica (Costa Rica)

Dr. Bismarck Jigena Antelo, Universidad de Cadiz (España)

Dr. Carlos Granell Canut, Universidad Jaume I de Castellón (España)

Dr. Carlos López Vázquez, Universidad ORT Uruguay (Uruguay)

Dra. Daniela Ballari, Universidad de Azuay (Ecuador)

Dra. Daniela Moctezuma, CentroGEO (México)

Dr. Francisco Javier Ariza López, Universidad de Jaén (España)

Dr. Francisco de la Barrera, Universidad de Concepción (Chile)

Dr. Jean Francois Mas, Universidad Nacional Autónoma de México (México)

Dr. Joep Crompvoets, KU Leuven Public Governance Institute (Bélgica)

Dr. Miguel Ángel Bernabé Poveda, Universidad Nacional de Catamarca (Argentina)

Dra. Montserrat Gómez Delgado, Universidad de Alcalá (España)

Dr. Sandra Staller Vázquez, Universidad Politécnica de Madrid (España)

Dr. Theofilos Toulkeridis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE (Ecuador)

Canje, venta y distribución, escribir a:

Instituto Panamericano de Geografía e Historia

Secretaría General

Apartado Postal 18879, C.P. 11870 Ciudad de México, México

Teléfonos: (52-55)5277-5888, 5277-5791 y 5515-1910

Correo electrónico: publicaciones@ipgh.org | <https://revistasipgh.org/> | <http://www.ipgh.org>

Las opiniones expresadas en notas, informaciones, reseñas y trabajos publicados en la *Revista Cartográfica*, son de la exclusiva responsabilidad de sus respectivos autores. Los originales que aparecen sin firma ni indicación de procedencia son de la Dirección de la Revista.

En cumplimiento con la resolución IX de la XIV Reunión del Consejo Directivo del IPGH (Buenos Aires, Argentina, julio, 1972.), se advierte que: "Los límites que aparecen en los mapas de esta publicación no están, en algunos casos, finalmente determinados y su reproducción no significa aprobación oficial o aceptación por el Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH)".

Diseño de portada / Cover design: Santiago Mora Van Cauwelaert. <https://tallersiranda.com>

Fuente de la imagen / Source: Interpretación del mapa de Santiago de Chile desde una perspectiva horizontal en dirección Oeste-Este, a partir de un modelo digital de elevación y la red vial (datos de libre acceso).

© 2023 Instituto Panamericano de Geografía e Historia.

Revista Cartográfica, núm. 107, julio-diciembre 2023, publicación semestral editada por el Instituto Panamericano de Geografía e Historia, Ex-arzobispado núm. 29, Col. Observatorio, Alcaldía Miguel Hidalgo, C.P. 11860, Ciudad de México, México. Tels. (52-55)5277-5888, 5277-5791, 5515-1910, www.ipgh.org | <https://revistasipgh.org/> | publicaciones@ipgh.org | Editora: María Ester Gonzalez, correo electrónico: editor_revista_cartografica@ipgh.org | Reserva de Derechos al Uso Exclusivo núm. 04-2015-090212390600-203, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor | ISSN (en línea) 2663-3981 | Licitud de título y contenido: en trámite | Responsable de la última actualización de este número: Departamento de Comunicación Social del IPGH, Ex arzobispado núm. 29, Col. Observatorio, Alcaldía Miguel Hidalgo, C.P. 11860, Ciudad de México, México.

Se autoriza cualquier reproducción parcial o total de los contenidos o imágenes de la publicación, incluido el almacenamiento electrónico, siempre y cuando sea para usos estrictamente académicos y sin fines de lucro, citando la fuente sin alteración del contenido y otorgando los créditos autorales.

REVISTA cartográfica

número 107

julio-diciembre 2023

CONTENIDO

Nota editorial 5

Artículos

Estudo das mudanças na linha de costa e vulnerabilidade costeira associada no litoral sul do Rio de Janeiro (SE Brasil)

Study of shoreline changes and associated coastal vulnerability in the southern coast of Rio de Janeiro (SE Brazil)

Breylla Campos Carvalho
Josefa Varela Guerra

11

Clasificación de la amenaza por incendios forestales en campamentos del Anfiteatro de Valparaíso

Classification of the threat of forest fires in camps of the Valparaíso Amphitheater

Víctor Nelson Elgueta Gutiérrez

35

Patrones espacio-temporales asociados a características del sedimento respecto a la disponibilidad de áreas de anidación para tres especies de tortugas el Amazonas colombo-peruano

Spatio-temporal patterns associated with the sediment characteristics regarding the availability of nesting areas for three species of turtles in the Colombian-Peruvian Amazon

Valentina Franco-Arciniegas
Javier Díaz-Perdomo

57

Potential Threat Assessment and Degree of Exposure in the event of an Explosion by Sudden Expansion of Boiling Liquid Vapor in the LPG Ground Storage Terminal in Monteverde, coastal Ecuador

Evaluación de la amenaza potencial y grado de exposición en caso de una explosión por expansión súbita del vapor de líquido hirviendo, en la terminal de almacenamiento en tierra de GLP en Monteverde, Costa del Ecuador

Adriana Gabriela Morales Delgado
Kervin Arturo Chunga Morán
Theofilos Toulkeridis

73

New steps against scientific gerrymandering: A new operational definition of geographic information science

Nuevos pasos contra el gerrymandering científico: Una nueva definición operacional de la ciencia de la información geográfica

Carlos López-Vázquez
María Ester Gonzalez-Campos
Miguel Ángel Bernabé-Poveda

95

Reseñas

Cartografías, mapas y contramapas

César Andrés Ospina Mesa

115

The Seine River Basin

Sonia Yanira Güiza González

119

Definición de la Revista

121

Normas para Autores

122

Nota editorial

En un mundo donde la información fluye constantemente y las disciplinas científicas se entrelazan cada vez más, la visibilidad y el alcance de las publicaciones científicas se convierten en pilares esenciales para fomentar el avance del conocimiento. En este contexto, con gran entusiasmo y satisfacción, presento esta Nota editorial, destacando un hito trascendental en la historia de *Revista Cartográfica*: la inclusión en la prestigiosa base de datos Scopus.

Scopus, conocida por ser una de las bases de datos de resúmenes y citas más prestigiosas a nivel internacional, se ha convertido en un punto de referencia fundamental para la comunidad académica y científica en su búsqueda de investigaciones de calidad. En este sentido, la indexación de *Revista Cartográfica* en Scopus no es solo un sello de aprobación, sino un reflejo del compromiso constante con la innovación y la excelencia. Es un testimonio de la calidad y relevancia de los artículos que se publican. Este logro refuerza la credibilidad y la influencia de la *Revista Cartográfica* en la comunidad académica y científica, al proporcionar un foro reconocido internacionalmente para el intercambio de conocimientos, avances tecnológicos y enfoques metodológicos en el campo de la Cartografía, Ciencia de la Información Geográfica y disciplinas afines.

Al ser parte de la comunidad indexada en Scopus, la *Revista Cartográfica* se une a una red interdisciplinaria de revistas científicas líderes en todo el mundo, fomentando la colaboración y el intercambio de ideas entre diferentes campos, enriqueciendo aún más el diálogo y el desarrollo de nuevas perspectivas asociadas a las temáticas de la revista. Por otra parte, *Revista Cartográfica* es una publicación de Acceso Abierto (*Open Access*) y sin costo para los autores, ofreciendo una modalidad de publicación que contribuye de manera significativa al avance de la ciencia y al beneficio de la sociedad en su conjunto. Desde este punto de vista, la revista se presenta como una importante alternativa, con indexaciones reconocidas por el mundo académico, para contribuir a la equidad en la difusión y acceso al conocimiento científico.

La indexación en Scopus de *Revista Cartográfica*, representa la culminación de esfuerzos sostenidos y continuos; un testimonio de lo que es posible cuando una comunidad se une con un propósito común; un logro compartido con autores, revisores, lectores y colaboradores. Agradezco los autores, cuyas contribuciones forman el corazón de nuestra revista, por confiar para compartir sus investigaciones; a nuestros revisores, cuya dedicación y experiencia han enriquecido cada artículo que publicamos y a nuestros lectores por su apoyo constante e interés en nuestra publicación. Extendiendo el agradecimiento a la

Comisión de Cartografía, equipo del Departamento de Comunicación Social, y Autoridades del IPGH así como a todos aquellos que han contribuido, de una u otra manera, a este importante logro.

Espero con entusiasmo el futuro y los nuevos avances de *Revista Cartográfica*, que seguramente surgirán como resultado de esta indexación que es un punto de partida, no un destino final. Continuando con pasión y dedicación, asegurando que cada número siga siendo una fuente valiosa de conocimiento e innovación.

María Ester Gonzalez
Editora

Editorial Note

In a world where information constantly flows and scientific disciplines are increasingly intertwined, the visibility and reach of scientific publications become essential pillars to promote the advancement of knowledge. In this context, with great enthusiasm and satisfaction, I present this editorial note, highlighting a transcendental milestone in the history of *Revista Cartográfica*: its inclusion in the prestigious Scopus database.

Scopus, known for being one of the most prestigious international abstract and citation databases, has become a fundamental point of reference for the academic and scientific community in its search for quality research. In this sense, the indexing of *Revista Cartográfica* in Scopus is not just a seal of approval, but a reflection of the constant commitment to innovation and excellence. It is a testimony to the quality and relevance of the articles that are published. This achievement reinforces the credibility and influence of *Revista Cartográfica* in the academic and scientific community, by providing an internationally recognized forum for the exchange of knowledge, technological advances and methodological approaches in the field of Cartography, Geographic Information Science and other related disciplines.

By being part of the community indexed in Scopus, *Revista Cartográfica* joins an interdisciplinary network of leading scientific journals around the world, fostering collaboration and the exchange of ideas between different fields, further enriching dialogue and the development of new perspectives associated with the themes of the journal. On the other hand, *Revista Cartográfica* is an Open Access publication and free of charge for the authors, offering a publication modality that contributes significantly to the advancement of science and the benefit of society as a whole. From this point of view, the journal is presented as an important alternative, with indexing recognized by the academic world, to contribute to equity in the dissemination and access to scientific knowledge.

The Scopus indexing of *Revista Cartográfica* represents the culmination of sustained and continuous efforts; a testimony to what is possible when a community comes together for a common purpose; an achievement shared with authors, reviewers, readers and collaborators. I thank the authors, whose contributions from the heart of our journal, for trusting us to share their research; to our reviewers, whose dedication and experience have enriched each article we publish, and to our readers for their continued support and interest in our publication. Extending thanks to the Cartography Commission, the team of the Department of Social Communication and Authorities of the

PAIGH and to all those who have contributed, in one way or another, to this important achievement.

I look forward to the future and the new advances of *Revista Cartográfica*, which will surely emerge as a result of this indexing, which is a starting point, not a final destination. Continuing with passion and dedication, ensuring that each issue remains a valuable source of knowledge and innovation.

María Ester Gonzalez

Editor

ARTÍCULOS



Estudo das mudanças na linha de costa e vulnerabilidade costeira associada no litoral sul do Rio de Janeiro (SE Brasil)

Study of shoreline changes and associated coastal vulnerability in the southern coast of Rio de Janeiro (SE Brazil)

Breylla Campos Carvalho¹

Josefa Varela Guerra²

Recebido 31 de agosto de 2022; aceito 25 de fevereiro de 2023

RESUMO

O comportamento da linha de costa é um indicativo das tendências à que o sistema costeiro está submetido, pois é a interface de contato da transição continente-oceano. Neste sentido, a Restinga da Marambaia e os arcos praias Macumba/Recreio-Barra da Tijuca (SE do Brasil) foram avaliados quanto à resposta da linha de costa às forçantes meteo-oceanográficas nas escalas temporais de longo e médio prazo, bem como foram mapeados seus graus de vulnerabilidade. Na escala de longo prazo (1986-2018), foram utilizadas imagens de satélite Landsat, dados de reanálise de ondas do modelo WaveWatch3, registros meteorológicos e medições do nível médio do mar. Na escala de médio prazo (2016-2018), foram levantados onze perfis topográficos, com coleta de amostras de sedimentos, nas praias Macumba/Recreio-Barra, além da análise dos registros de boias oceanográficas em águas profundas e rasas. Por fim, estas informações permitiram elaborar um Índice de Vulnerabilidade Costeira à erosão e inundação. De modo geral, 18% da linha de costa encontra-se sob erosão, 52% encontra-se estável e 30% está avançando. No período analisado, foram contabilizados cerca de 400 eventos de tempestade, que durante os anos de La Niña foram mais energéticos e culminaram em uma erosão mais severa. O nível do mar na região apresenta tendência de aumento (1,93 mm/ano). O reflexo destes resultados, somado aos graus de ocupação urbana nas praias estudadas,

¹ Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil, e-mail: breylla.carvalho@uerj.br.
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5131-6177>

² Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil, e-mail: josefa@uerj.br.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9406-6470>

exibem baixa vulnerabilidade no setor oeste da Marambaia, enquanto que os setores central e extremo leste configuram-se como altamente vulneráveis. Na Macumba o setor oeste exibe baixa vulnerabilidade, em contraste com o setor leste que é muito vulnerável. No arco Recreio-Barra nota-se o aumento da vulnerabilidade de oeste para leste. Estes resultados indicam que a influência antrópica tem um papel importante em áreas que são naturalmente propensas à alta vulnerabilidade, exigindo uma maior compreensão das condições naturais associadas às intervenções antrópicas.

Palavras chave: *praias arenosas, condicionantes meteo-oceanográficos, análise de séries temporal, teleconexões climáticas, vulnerabilidade costeira.*

ABSTRACT

The coastline pattern is indicative of the trends to which the coastal system is subjected, since it is the contact interface of the continent-ocean transition. In this context, the Restinga da Marambaia and the Macumba/Recreio-Barra da Tijuca beach arcs (SE Brazil) were evaluated as to shoreline response to meteo-oceanographic forcings at the long and medium term time scales, as well as their vulnerability degrees were mapped. On the long-term scale (1986-2018), Landsat satellite imagery, wave reanalysis data from the WaveWatch3 model, meteorological records, and mean sea level measurements were used. At the medium-term scale (2016-2018), eleven topographic profiles were surveyed, with sediment sampling, at Macumba/Recreio-Barra beaches, in addition to the analysis of oceanographic buoy records in deep and shallow waters. Finally, this information allowed the elaboration of a Coastal Vulnerability Index to erosion and flooding. In general, 18% of the coastline is eroded, 52% is stable, and 30% is advancing. In the analyzed period, about 400 storm events were accounted for, which during the La Niña years were more energetic and culminated in more severe erosion. The sea level in the region shows a tendency to increase (1.93 mm/year). The combination of these results and the degree of urban occupation of the studied beaches show low vulnerability in the western sector of Marambaia, while the central and extreme eastern sectors are highly vulnerable. In Macumba the western sector exhibits low vulnerability, in contrast with the eastern sector that is very vulnerable. In the Recreio-Barra arc, vulnerability increases from west to east. These are indicative that human influence plays an important role in areas that are naturally prone to high vulnerability, requiring a greater understanding of the natural conditions associated with human interventions.

Key words: *sandy shores, meteo-oceanographic conditions, time series analysis, climatic teleconnections, coastal vulnerability.*

RESUMEN

El modelado de la línea de costa es indicativo de las tendencias a las que está sometido el sistema costero, ya que es la zona de contacto de la transición continente-océano. En este contexto, los arcos de las playas de Restinga

de Marambaia y Macumba/Recreio-Barra da Tijuca (SE de Brasil) fueron evaluados en cuanto a la respuesta de la línea de costa a los forzamientos meteoceanográficos en las escalas temporales de largo y medio plazo, así como se mapearon sus grados de vulnerabilidad. En la escala de largo plazo (1986-2018), se utilizaron imágenes satelitales Landsat, datos de reanálisis de olas del modelo WaveWatch3, registros meteorológicos y mediciones del nivel medio del mar. En la escala de mediano plazo (2016-2018), se levantaron once perfiles topográficos, con muestreo de sedimentos, en las playas de Macumba/Recreio-Barra, además del análisis de registros de boyas oceanográficas en aguas profundas y poco profundas. Por último, estas informaciones permitieron la elaboración de un Índice de Vulnerabilidad de la Costa a la erosión y a las inundaciones. En general, el 18% de la línea de costa está erosionada, el 52% está estable y el 30% avanza. En el periodo analizado, se contabilizaron unos 400 eventos de tormentas, que durante los años de La Niña fueron más enérgicos y culminaron en una erosión más severa. El nivel del mar en la región muestra una tendencia al aumento (1,93 mm/año). La combinación de estos resultados y el grado de ocupación urbana de las playas estudiadas muestran una baja vulnerabilidad en el sector occidental de Marambaia, mientras que los sectores centrales y extremo oriental son altamente vulnerables. En Macumba, el sector oeste presenta una baja vulnerabilidad, en contraste con el sector este que es muy vulnerable. En el arco Recreio-Barra, la vulnerabilidad aumenta de oeste a este. Esto indica que la influencia humana desempeña un papel importante en las zonas que son naturalmente propensas a una alta vulnerabilidad, lo que requiere una mayor comprensión de las condiciones naturales asociadas a las intervenciones humanas.

Palabras clave: playas arenosas, condicionantes meteoceanográficos, análisis de series temporales, teleconexiones climáticas, vulnerabilidad costera.

1. Introdução

As zonas costeiras, ambientes de interface entre continente e oceano, são áreas densamente ocupadas (Masselink & Hughes, 2003), em que com o aumento de eventos extremos (Reguero *et al.*, 2019; Rey *et al.*, 2021; Young & Ribal, 2019), a crescente subida do nível do mar (Losada *et al.*, 2013) e o aumento da erosão costeira (Mentaschi *et al.*, 2018; Payo *et al.*, 2018) demandam um melhor conhecimento do comportamento morfodinâmico destes ambientes. Recentemente, Vousdoukas *et al.* (2020) verificaram que uma proporção substancial da costa arenosa do mundo está sofrendo erosão, uma situação que pode ser acentuada pelas mudanças climáticas. Eles mostraram que as tendências ambientais na dinâmica da linha de costa, combinadas com a erosão costeira impulsionada pela elevação do nível do mar, podem resultar na quase extinção de quase metade das praias arenosas do mundo até o final do século. Em contraponto a este trabalho Cooper *et al.* (2020) apontam que mesmo que uma praia esteja sofrendo erosão, havendo espaço para acomodação, as praias

migram para a terra à medida que o nível do mar sobe e a costa recua. Eles ainda destacam que muitas praias contemporâneas foram formadas há milhares de anos e migraram para a terra durante o aumento do nível do mar pós-glacial.

Para compreender a evolução da linha de costa e seu grau de vulnerabilidade diante dos processos costeiros existem diferentes abordagens e técnicas que podem ser aplicadas. Com o crescente avanço tecnológico, que facilita tanto a obtenção e o armazenamento de imagens de satélite, quanto o processamento e análise das mesmas, inúmeros trabalhos que avaliam a mudança na posição da linha de costa, em especial com uso de imagens de satélite gratuitas (p. ex. Landsat e Copernicus Sentinel), têm sido cada vez mais publicados (Benkhattab *et al.*, 2020; McAllister *et al.*, 2022; Nguyen Hao & Takewaka, 2022; Spinosa *et al.*, 2021). Além de permitir a análise pretérita do comportamento morfológico das áreas costeiras, esses resultados podem auxiliar na elaboração de modelos de previsão da linha de costa futura (Aladwani, 2022; Barik *et al.*, 2021).

Para avaliar o grau de vulnerabilidade costeira que uma área está exposta, os principais métodos utilizados são: (1) os índices, (2) os indicadores, (3) os sistemas de informação geográfica e (4) os modelos dinâmicos computadorizados (Berger, 1997; Bevacqua *et al.*, 2018; Noor & Abdul Maulud, 2022; Satta, 2014). Um dos métodos mais utilizados é o índice de vulnerabilidade costeira (IVC), tendo sido utilizado pioneiramente por (Gornitz *et al.*, 1990) para avaliar a vulnerabilidade à inundação da costa leste dos Estados Unidos. Devido à facilidade de aplicação e customização das variáveis usadas na construção do índice, esse método tem sido aplicado em diferentes áreas costeiras do mundo (Hzami *et al.*, 2021; López Royo *et al.*, 2016; Oloyede *et al.*, 2022; Sekovski *et al.*, 2020; Solari *et al.*, 2018).

Tanto a mobilidade da linha de costa ao longo do tempo, quanto a vulnerabilidade à erosão e à inundação costeira são temas interligados e de certa forma indissociados, assim torna-se importante analisar a zona costeira de maneira integral, incluindo as mudanças na posição da linha de costa na análise da vulnerabilidade costeira (Mahendra *et al.*, 2021; Nazeer *et al.*, 2020; Velasquez-Montoya *et al.*, 2021; Wiles *et al.*, 2022).

No Brasil, de acordo com o panorama mais recente sobre a erosão costeira no país, verificou-se que entre 60 e 65 % da linha de costa das regiões Norte e Nordeste encontravam-se sob erosão, enquanto que nas regiões Sul e Sudeste o percentual erosivo era ligeiramente menor, cerca de 15% (Brasil, 2018). No caso do estado do Rio de Janeiro (SE do Brasil), verificou-se uma tendência erosiva em 38% de sua linha de costa (Brasil, 2018), que devido a sua configuração natural, acaba apresentando risco natural alto e muito alto (Tessler, 2008). A dinâmica do litoral do Rio de Janeiro, em especial seu compartimento oeste-leste, que é voltado para o quadrante sul, tem sido objeto de estudos geológico-geomorfológicos nas últimas décadas (p. ex. Criado-Sudau *et al.*, 2019; Dadalto *et al.*, 2021; Friederichs *et al.*, 2013; Muehe, 1971; Muehe *et al.*, 2018; Muehe & Carvalho, 1993; Muehe & Corrêa, 1989, 1988; Nemes *et al.*, 2019; Oliveira *et al.*, 2008; Silva *et al.*, 2008; Silva *et al.*, 1973), bem como trabalhos sobre o clima de ondas na região também têm sido desenvolvidos (p. ex. Carvalho *et al.*, 2002; Lins-de-Barros *et al.*, 2018; Nascimento, 2013; Parente *et al.*, 2015; Pena & Lins-

de-Barros, 2015; Santos *et al.*, 2004; Violante-Carvalho, 1998). Contudo, estes estudos acabam não analisando as formas e os processos de maneira integrada, e muitas vezes são realizados de maneira pontual, no tempo e no espaço.

Desta forma, para compreender melhor o comportamento da linha de costa e o grau de vulnerabilidade das praias arenosas do Rio de Janeiro, este trabalho analisou dois setores costeiros em conjunto com seus processos modeladores, em escalas temporais de longo (décadas) e médio (anos) prazos. A área de estudo compreende a margem oceânica da restinga da Marambaia (Figura 1A) e os arcos praias Macumba e Recreio-Barra da Tijuca (Figura 1B). Um ponto relevante deste trabalho é o uso de um extenso banco de dados oceanográficos georreferenciados, imagens de satélite gratuitas e pontos de monitoramento *in situ* para acessar o comportamento dinâmico da linha de costa, a partir de metodologias que podem ser aplicadas em outras praias arenosas do mundo que tenham características similares as apresentadas neste estudo.

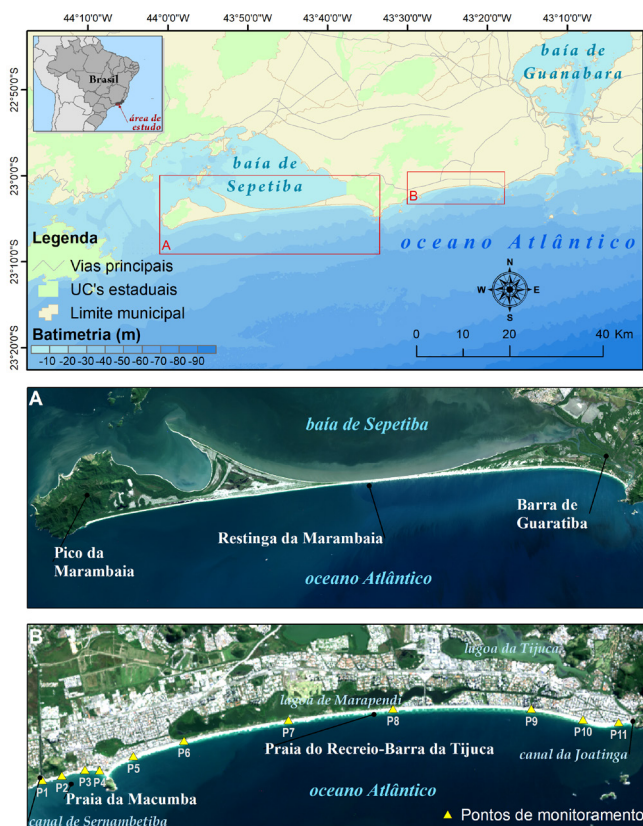


Figura 1. Localização da área de estudo no litoral sul do estado do Rio de Janeiro (painel superior). A: Restinga da Marambaia; B: Praias da Macumba e do Recreio-Barra da Tijuca. Imagem de satélite Landsat 8 de 12 de maio de 2018, na composição 4R3G2B.

2. Área de estudo

Os setores costeiros onde a pesquisa foi realizada estão localizados no litoral sul do Rio de Janeiro: na restinga da Marambaia, uma ilha barreira de 40 km, e nas praias urbanas da Macumba e Recreio-Barra da Tijuca, com aproximadamente 20 km de extensão (Figura 1). Este setor do litoral do RJ é caracterizado por longos e retilíneos depósitos arenosos dispostos como barreiras duplas (Muehe & Valentini, 1998), exceto na Marambaia (Dadalto *et al.*, 2022). Na área há dois tipos de climas atuantes: tropical sem estação seca (Af) e tropical de monção (Am) (Alvares *et al.*, 2013), com temperaturas médias variando entre 22 e 24°C e precipitação anual entre 1300 e 1600 mm. As ondas variam de leste a sudoeste, sendo que as ondas de leste são mais frequentes (condição de tempo bom) e as de sul, mais intensas (Carvalho *et al.*, 2020; Nascimento, 2013; Parente *et al.*, 2015), com alturas superiores a 5 m e períodos de 16 s em alguns episódios. A zona está sob regime de micromaré, com valores variando entre 0,3 e 1,2 m (Criado-Sudau *et al.*, 2019).

3. Materiais e Métodos

3.1 Longo prazo

O clima de ondas da região foi avaliado a partir dos dados de reanálise do modelo WaveWatch3 (WW3) para um ponto de extração próximo à área de estudo, para o período de 1986 a 2018 (detalhes em Carvalho *et al.*, 2020). Além da análise geral dos dados, foi aplicada uma filtragem para caracterizar os eventos de tempestade, usando o método do Índice de Energia da Tempestade (SPI) (Dolan & Davis, 1992) e Energia Total das Ondas (E) (Molina *et al.*, 2019).

Para acessar as oscilações do nível do mar (NM) na costa do Rio de Janeiro, os registros de maré da Ilha Fiscal (GOOS-Brasil, 2019), de 1986 a 2017, foram processados usando as rotinas T-Tide e T-Predict (Pawlowicz *et al.*, 2002), nas quais o nível não astronômico foi extraído. A partir de regressão linear, foi calculada a taxa de subida do NM.

A quantificação da variação da linha de costa foi realizada a partir de 39 cenas (órbita/ponto 217/76) Landsat 5 e 8, entre os anos de 1986 e 2018. A extração da linha de costa, definida como linha seca/úmida (Boak & Turner, 2005), foi realizada por meio do Índice de Diferença Normalizada da Água (McFeeters, 1996). Usando a ferramenta DSAS (Thieler *et al.*, 2017), no ArcMap® 10.5, o envelope da variação da linha de costa (SCE) e as taxas de regressão linear (LRR) foram calculados para 426 transectos, equi-espaçados em 150 m (detalhes em Carvalho *et al.*, 2020).

Valores do Índice de Oscilação Sul (SOI), para detectar anos de *El Niño* e *La Niña*, entre os anos de 1986 a 2018, foram utilizados para detectar possíveis teleconexões climáticas.

3.2 Médio prazo

Informações como altura, período e direção das ondas, entre 2016 e 2018, foram extraídas dos registros das bóias oceanográficas de águas profundas (CF2) e águas rasas (RJ-3 e RJ-4) dos programas PNBOIA e SiMCosta, respectivamente.

Durante 22 campanhas amostrais, entre 2016 e 2018, em onze pontos distribuídos ao longo dos arcos praias Macumba e Recreio-Barra da Tijuca (localização no painel B da Figura 1), foram coletadas amostras de sedimentos da face de praia, processadas em laboratório (Krumbein & Pettijohn, 1938) e tiveram seus parâmetros estatísticos calculados conforme (Folk & Ward, 1957).

O levantamento topográfico dos onze perfis praias (localização no painel B da Figura 1) foi realizado com um par GNSS pós-processado (Hemisphere GNSS, n.d.), sendo que um equipamento foi usado como estação base e o outro como estação móvel (*rover*) para realizar o caminhamento ao longo do perfil (detalhes em Carvalho *et al.*, 2021). Esses dados foram processados como programa GNSS Solutions TM. Os dados da estação base foram processados em relação à estação Observatório Nacional da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e os dados da estação móvel processados em relação à estação base corrigida. Com os dados corrigidos tabulados foi possível elaborar os perfis topográficos e calcular as variações de largura praias nos pontos de monitoramento. As medições aconteceram independentes do nível da maré (baixa ou alta) e sempre foram utilizados os mesmos pontos de referência, para garantir que os perfis fossem sempre medidos no mesmo local, garantindo a comparação entre eles (detalhes nas Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Localização do ponto de referência dos perfis praias

<i>Perfis</i>	<i>Longitude</i>	<i>Latitude</i>
P1	-43,4921	-23,0348
P2	-43,4826	-23,0325
P3	-43,4726	-23,0319
P4	-43,4799	-23,0318
P5	-43,4618	-23,0273
P6	-43,4332	-23,0196
P7	-43,4043	-23,0148
P8	-43,3751	-23,0118
P9	-43,3458	-23,011
P10	-43,3168	-23,014
P11	-43,3006	-23,0154

Legenda: Localização dos perfis na Figura 1B.

Tabela 2. Condições da maré durante a medição dos perfis praias entre os anos de 2016 e 2018

<i>Data (dd/mm/aa)</i>	<i>Preia e baixa-mares</i>	<i>Tipo</i>
27/07/16	Vazante	Quadratura
27/09/16	Enchente / Estofa	Quadratura
12/12/16	Enchente / Vazante	Sizígia
30/01/17	Vazante / Enchente	Quadratura
13/02/17	Vazante / Enchente	Quadratura
16/03/17	Vazante / Enchente	Quadratura
20/04/17	Vazante	Quadratura
18/05/17	Vazante	Quadratura
29/06/17	Vazante	Quadratura
20/07/17	Enchente / Vazante	Quadratura
10/08/17	Vazante / Enchente	Quadratura
15/08/17	Vazante	Quadratura
15/09/17	Enchente / Vazante	Quadratura
17/10/17	Enchente / Vazante	Quadratura
23/11/17	Vazante	Quadratura
04/12/17	Vazante / Enchente	Sizígia
08/02/18	Vazante	Quadratura
20/03/18	Vazante / Enchente	Quadratura
18/06/18	Vazante / Estofa	Quadratura
25/07/18	Enchente / Vazante	Sizígia
15/08/18	Vazante / Enchente	Quadratura
11/10/18	Vazante / Enchente	Quadratura

3.3 Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC)

Os níveis de vulnerabilidade foram avaliados a partir da modificação do índice proposto por Gornitz *et al.* (1990). Doze variáveis (apresentadas na Tabela 3) foram avaliadas ao longo de 426 transectos, distantes 150 m: seis geológicos e geomorfológicos, três oceanográficos, um ecológico e dois antrópicos. Três classes de vulnerabilidade foram atribuídas a cada variável: (1) baixa, (2) média e (3) alta (detalhes em Carvalho & Guerra, 2020). Posteriormente, para cada transecto foi calculado o IVC por meio da seguinte equação (Eq. 1; Gornitz *et al.*, 1990):

$$IVC = \sqrt{\frac{a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e \cdot f \cdot g \cdot h \cdot i \cdot j \cdot k \cdot l}{12}} \quad (\text{Eq. 1})$$

onde cada letra (a, b, c...) representa o nível de vulnerabilidade de cada variável e o denominador indica o número de variáveis. Para finalizar, classificou-se o IVC

em quatro classes (baixa a muito alta) usando os percentis como limites (Carvalho & Guerra, 2020). A construção das classes de vulnerabilidade foi projetada de forma que pudesse ser aplicada a linhas costeiras com características diferentes das da área de estudo e, por esta razão, algumas variáveis apresentam apenas um nível de vulnerabilidade. Todo o processamento foi realizado no ArcMap® 10.5.

Tabela 3. Variáveis utilizadas na confecção do Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC)

Tipo	Variável
Geológica-Geomorfológica	Geomorfologia
	Declividade (°)
	Varição da largura da faixa de areia (m)
	Altitude (m)
	Erosão / Acreção (m/ano)
Oceanográfica	Tamanho médio do grão (Φ)
	Elevação do nível do mar (mm/ano)
	Altura de onda significativa (m)
Ecológica	Amplitude da maré (m)
Antrópica	Vegetação
	Estruturas costeiras
	Densidade populacional (habitantes/km ²)

4. Resultados

4.1 Longo Prazo

Entre os anos de 1986 e 2018, a altura das ondas oscilou entre 0,4 e 5 m, sendo que as alturas entre 1 e 2 m foram as mais frequentes (~33%). O período variou entre 3 e 18 s, com valores mais frequentes entre 6 e 9 s. A direção média das ondas foi de SE, com ondas de L e S mais frequentes (Figura 2).

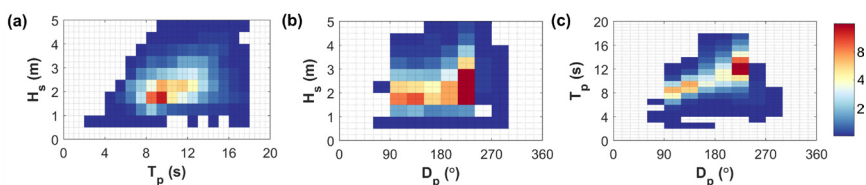


Figura 2. Climatologia de ondas entre 1986 e 2018 no litoral sul do Rio de Janeiro: (a) período de pico e altura significativa; (b) direção de pico e altura significativa; (c) direção de pico e período de pico. A barra lateral indica a frequência de ocorrência em percentual (%).

Após a filtragem dos dados para detecção dos eventos de tempestade, nota-se a maior frequência de ondas de SSW, com predomínio de 10 s. Há uma maior concentração dos eventos entre abril e setembro, em especial os eventos severos e extremos e nota-se o aumento no nº e na magnitude dos eventos a partir de 2006. Pelo Índice de Energia da Tempestade (SPI) foram contabilizados 419 eventos, sendo que os eventos que ocorreram durante os anos de *La Niña* foram mais intensos. A partir da Energia Total das Ondas (E) foram contabilizados 429. Ao longo de toda série, os meses que tiveram as maiores magnitudes acumuladas pelo SPI não foram correspondentes aos meses com os maiores acumulados calculados pelo E. Por exemplo, no ano de 2002, de acordo com o cálculo do SPI, o mês de março foi o que apresentou maior magnitude acumulada (511 m² h), ao passo que pelo cálculo do E, o mês de maior magnitude acumulada foi junho (1455,9 kJ/m). Na Tabela 4 é possível ver os meses com maior número de eventos, bem como àquelas com maior magnitude acumulada, entre os anos de 1986 e 2018. Em contrapartida, a detecção dos meses com maior número de eventos foi similar para 85% dos casos.

Tabela 4. Meses com maior número de eventos de tempestade e maior magnitude acumulada

Ano	SPI (m ² h)				E (kJ/m)			
	N.E.	Mês	M.A.	Mês	N.E.	Mês	M.A.	Mês
1986	4	Jul	739	Mai	4	Jul	2859	Jul
1987	4	Jun	788	Mar	3	Mai	3591	Ma
1988	4	Jul	881	Ago	4	Jul	3522	Ago
1989	4	Jun	665	Set	4	Jun, Set	3568	Set
1990	3	Set	1003	Abr	3	Abr, Ago, Set, Out	2590	Abr
1991	3	Out	736	Ago	3	Out	2346	Out
1992	3	Jul	747	Jun	2	Jul, Ago	1969	Jun
1993	2	Mai, Jun, Jul	842	Ago	2	Mai, Jun, Jul	3054	Jul
1994	4	Abr	800	Jul	4	Abr	4239	Abr
1995	3	Set	681	Ago	5	Mai	2784	Mai
1996	3	Jun	606	Jul	5	Jun	3982	Jun
1997	3	Mai	824	Mai	3	Abr, Mai	4596	Mai
1998	3	Set	450	Ago	4	Set	1558	Abr
1999	2	Abr, Mai, Ago	1190	Set	3	Ago	2678	Ago
2000	3	Jul	438	Mai	2	Mai, Jul, Ago	1682	Jul
2001	5	Set	863	Mai	6	Set	2973	Set
2002	3	Jun, Set	511	Mar	3	Jul	1456	Jun
2003	3	Mai	389	Ago	4	Mai	2261	Mai

Ano	SPI ($m^2 h$)				E (kJ/m)			
	N.E.	Mês	M.A.	Mês	N.E.	Mês	M.A.	Mês
2004	3	Mai, Jul, Ago	653	Nov	3	Mai, Jul, Ago	3565	Mai
2005	2	Jul, Set	696	Jul	3	Jul	2616	Jul
2006	3	Abr, Jun, Set	647	Jun	4	Jun, Set	4963	Jun
2007	5	Jul	715	Mai	5	Jul	3800	Jul
2008	3	Abr, Nov	493	Dez	5	Mai	1629	Mai
2009	4	Jun, Jul	476	Set	4	Jun	2514	Jul
2010	4	Jun	1745	Abr	6	Jun	4911	Jun
2011	4	Mai	755	Ago	5	Mai	4287	Mai
2012	3	Jun, Jul	317	Set	3	Jun, Jul	1928	Jul
2013	4	Ago	732	Set	4	Ago	1882	Ago
2014	2	Mai, Ago	292	Abr	3	Ago	1439	Ago
2015	2	Jul, Set	260	Jun	2	Ago, Set	1406	Set
2016	3	Jul	513	Jun	4	Jul	2880	Jul
2017	2	Ago, Set	657	Mai	2	Jul, Set	2298	Ago
2018	1	Mai	444	Jul	2	Mai	1130	Jul

Legenda: SPI: índice de energia da tempestade; E: fluxo de energia da tempestade integralizado no tempo; N.E.: número de eventos; M.A.: magnitude acumulada.

Entre os anos de 1989 e 2017, o nível variou entre 1,9 e 2,6 m, assim tendo uma amplitude de 70 cm. Nos anos de 1994 e 1995, houve um aumento nos valores medianos, com posterior queda nos anos seguintes, voltando a subir a partir de 2009. Vemos que durante os anos de *El Niño*, o nível é afetado positivamente, enquanto que durante a *La Niña*, a amplitude dos valores é maior, ver Figura 3. Por meio da regressão linear, para o período de 1989 a 2016, observou-se uma taxa de subida do nível do mar a 1,93 mm/ano.

A partir do mapeamento da linha costa, foi possível verificar que entre 1986 e 2018 as maiores variações estão localizadas nos setores leste da restinga e do arco praial Recreio-Barra da Tijuca, com pontos de mais de 100 m de envelope praial. Nos outros setores, o envelope médio é de aproximadamente 60 m (Figura 4). Relativo ao recuo e avanço da linha de costa, nota-se que nos setores oeste e extremo leste da restinga predomina o recuo, com taxas médias de -0,12 m/ano, enquanto que nos arcos Macumba e Recreio-Barra da Tijuca predomina o avanço, com taxas médias de 0,20 m/ano. Em resumo, em toda a área de estudo verificou-se que 18% encontra-se em recuo, 52% estável e 30% em avanço.

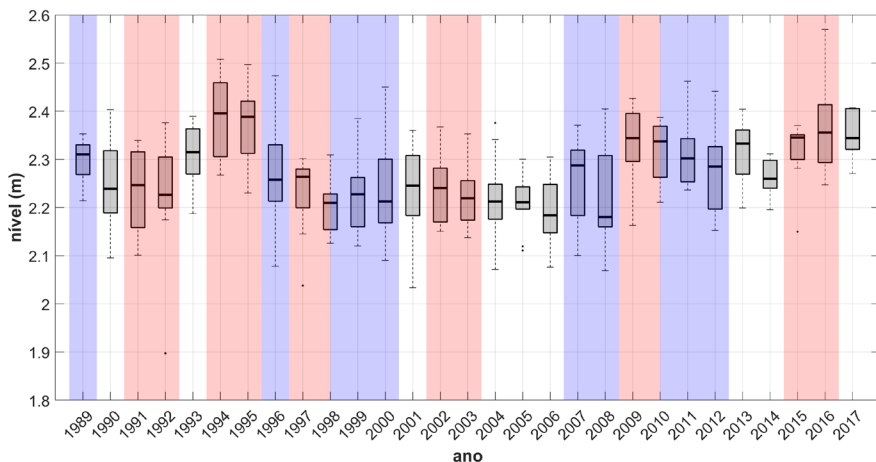


Figura 3. Variação anual do nível médio do mar no marégrafo da Ilha Fiscal, entre 1989 e 2017. As cores em vermelho e azul representam, respectivamente, anos de ocorrência de El Niño e de La Niña.

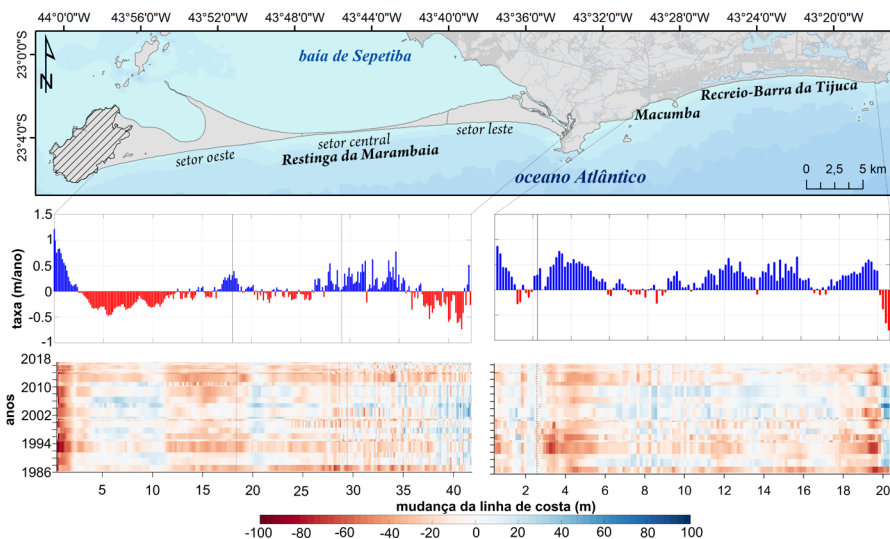


Figura 4. Variação da posição da linha de costa entre 1986 e 2018.

Ao analisar as taxas por décadas, verifica-se que entre 1986 e 1996 os pontos de maior erosão encontravam-se nas extremidades oeste e leste da restinga da Marambaia (Figura 5a), com taxas de até $-2,8$ m/ano e na extremidade oeste do arco Recreio-Barra da Tijuca (Figura 6a), com taxas de até 3 m/ano. No período seguinte, entre 1997 e 2007, os pontos de maior erosão encontravam-se nas

extremidades do setor oeste da Marambaia (até $-2,7$ m/ano; Figura 5b) e no setor leste da praia da Macumba ($-1,4$ m/ano; Figura 6b). Entre os anos de 2008 e 2018, verificam-se pontos de erosão ao longo de toda a linha, em especial nos setores central e leste da Marambaia (Figura 5c) e do arco Recreio-Barra da Tijuca (Figura 6c), até $-4,1$ m/ano.

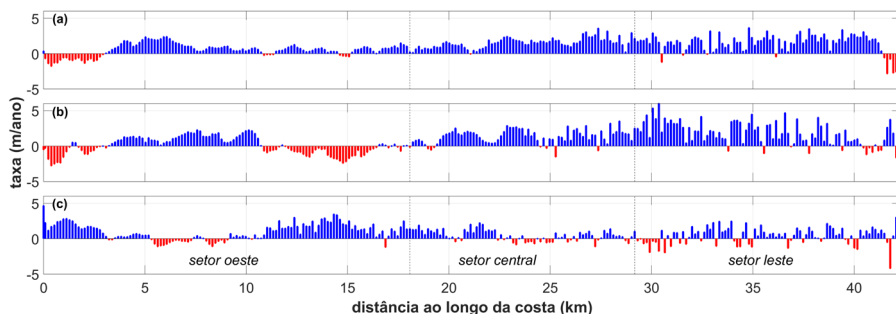


Figura 5. Taxa de variação da posição da linha de costa na restinga da Marambaia por década: (a) 1986 a 1996; (b) 1997 a 2007; (c) 2008 a 2018. As barras azuis (valores positivos) e vermelhas (valores negativos) indicam, respectivamente, mudanças em direção ao mar – avanço da linha de costa – e em direção ao continente – recuo da linha de costa.

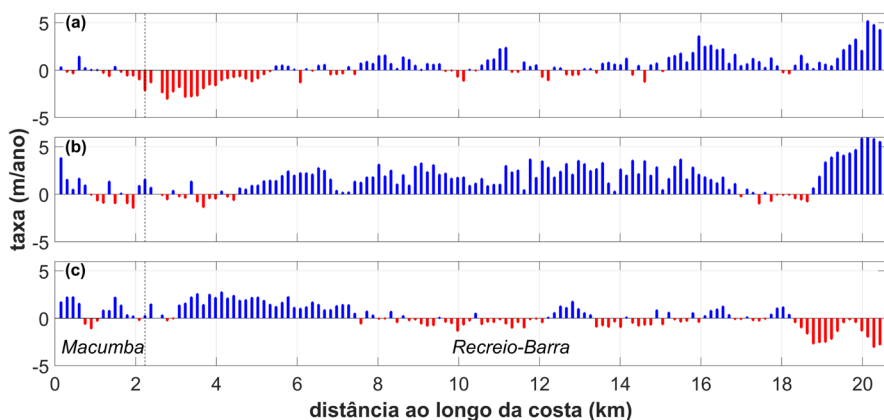


Figura 6. Taxa de variação da posição da linha de costa nas praias da Macumba e Recreio-Barra da Tijuca por década: (a) 1986 a 1996; (b) 1997 a 2007; (c) 2008 a 2018. As barras azuis (valores positivos) e vermelhas (valores negativos) indicam, respectivamente, mudanças em direção ao mar – avanço da linha de costa – e em direção ao continente – recuo da linha de costa.

4.2 Médio Prazo

Entre 2016 e 2018, as ondas da boia CF2 variaram entre L e SO, sendo mais frequentes as ondas de L e mais intensas as ondas do quadrante S. Nas boias de Copacabana, as ondas variaram entre SE e SO. Em ambos os registros as alturas máximas foram de ~4 m e período máximo de 17 s, em condições mais energéticas. Ao longo deste período, foram contabilizados 21 eventos de tempestade sendo que foi realizado o monitoramento no início de dois eventos (18 de maio de 2017 e 10 de agosto de 2017) e após quatro eventos (27 de setembro de 2016, 20 de julho de 2017, 15 de agosto de 2017 e 18 de junho de 2018).

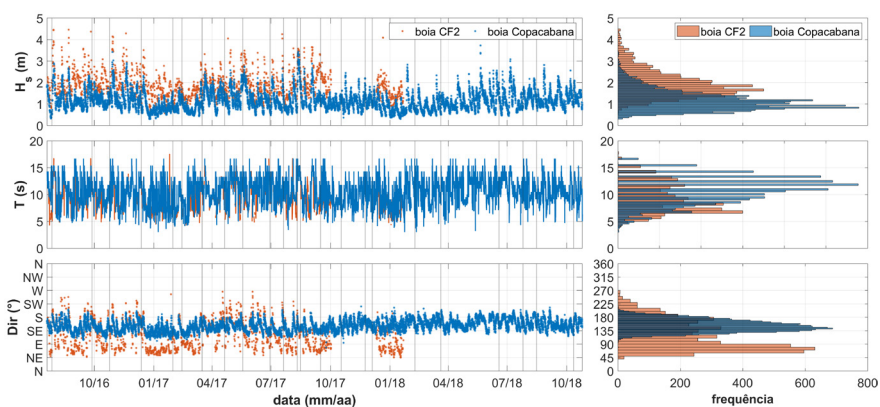


Figura 7. Série temporal e histograma das condições hidrodinâmicas entre julho de 2016 e outubro de 2018: (painel superior) altura de onda significativa; (painel intermediário) período da onda; (painel inferior) direção da onda. As linhas cinzas indicam as datas em que houve levantamento de campo.

A partir da análise sedimentológica, verificou-se que o tamanho médio dos grãos diminui de oeste para leste, de areia grossa para areia média (Figura 8). As amostras variaram de muito bem a moderadamente selecionadas, predominantemente positivas e quase simétricas e com curtose variada (sem padrão definido tanto espacial, quanto temporalmente).

A partir dos perfis topográficos foi possível avaliar a variação da largura de cada ponto de monitoramento. Na praia da Macumba as maiores variações foram registradas no setor oeste, no P1, com largura máxima de 110 m, enquanto que nos outros perfis, as variações não ultrapassaram 60 m. Já no arco Recreio-Barra da Tijuca, as extremidades exibem grande variabilidade, variando de 50 a 125 m de largura. Também foi observada a diminuição da declividade e da altitude (não apresentado em gráfico) de oeste para leste. Destaca-se no P11, extremo leste da área de estudo, a diminuição de 45 m de largura após um evento de tempestade, que ocorreu em agosto de 2017,

em que sua recuperação em relação a largura média só aconteceu após 1 ano. Neste mesmo período, no outro extremo da área de estudo, no P1, verificou-se comportamento oposto, com aumento da largura após o evento e posterior diminuição gradativa da largura ao longo de um ano. Na Tabela 5 são apresentados os valores de largura registrados em cada perfil para cada data em que houve o levantamento topográfico.

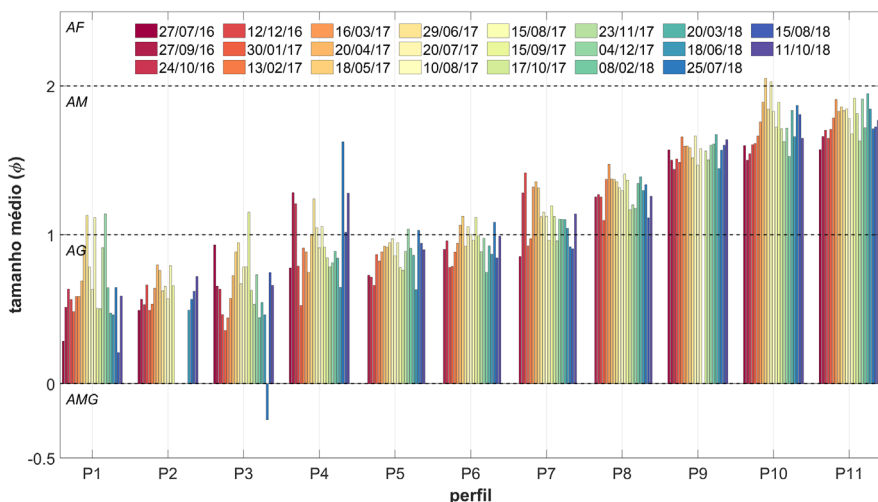


Figura 8. Tamanho médio dos grãos, em cada data de monitoramento, nos onze perfis praias monitorados.

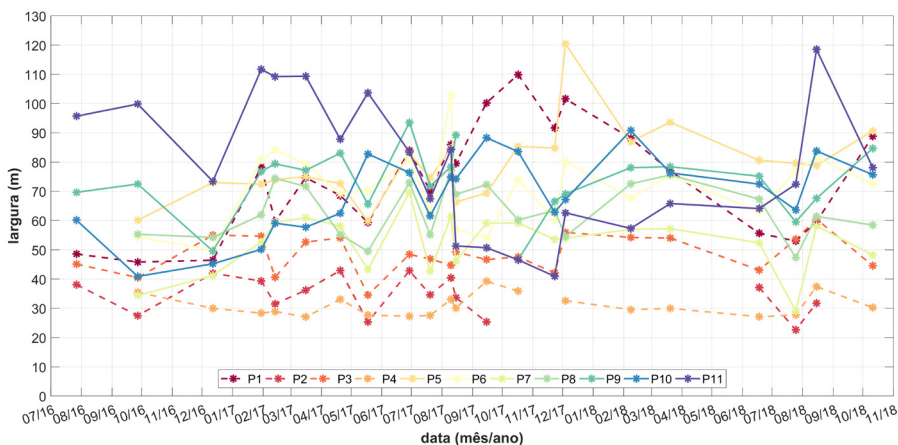


Figura 9. Variação da largura praias, em cada data de monitoramento, nos onze perfis praias monitorados.

Tabela 5. Medições da largura dos perfis praias entre os anos de 2016 e 2018

Data (dd/mm/aa)	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
27/07/16	48.6	38.1	45.1	-	-	-	-	-	69.7	60.1	95.7
27/09/16	45.8	27.5	40.5	35.5	60.1	54.3	34.4	55.3	72.5	40.9	99.8
12/12/16	46.5	42.0	55.0	30.0	73.0	50.0	41.2	54.2	49.6	45.2	73.4
30/01/17	78.3	39.3	54.7	28.3	72.5	80.8	52.7	62.0	76.8	50.2	111.7
13/02/17	59.7	31.5	40.6	28.9	74.0	84.1	59.5	74.4	79.4	59.1	109.2
16/03/17	74.7	36.2	52.6	27.0	75.0	79.3	61.0	71.7	77.2	57.7	109.4
20/04/17	68.6	42.9	54.1	33.1	72.6	69.2	58.1	55.2	83.0	62.5	87.8
18/05/17	59.3	25.3	34.5	27.7	59.8	70.3	43.3	49.5	65.6	82.8	103.7
29/06/17	83.9	42.9	48.4	27.3	83.0	81.0	69.6	73.0	93.6	76.4	83.4
20/07/17	70.0	34.7	46.9	27.6	74.7	62.8	42.7	55.1	71.8	61.6	67.5
10/08/17	86.0	40.4	44.7	33.0	84.7	102.9	61.4	77.2	78.4	74.9	84.3
15/08/17	79.5	33.7	49.2	30.1	66.4	57.0	46.1	68.9	89.2	74.2	51.3
15/09/17	100.2	25.3	46.7	39.3	69.4	54.1	59.2	72.3	-	-88.3	50.7
17/10/17	109.9	-	47.6	35.9	85.3	73.9	59.2	60.3	46.6	83.6	46.6
23/11/17	91.7	-	42.1	-	84.8	60.3	53.6	63.4	66.6	62.8	40.9
04/12/17	101.6	-	55.9	32.6	120.4	80.1	53.9	54.6	69.1	67.2	62.6
08/02/18	88.1	-	54.2	29.5	87.0	67.8	57.0	72.6	78.1	90.8	57.3
20/03/18	77.0	-	54.0	30.0	93.6	75.4	57.2	75.6	78.4	76.3	65.8
18/06/18	55.7	37.1	43.1	27.1	80.6	63.1	52.4	67.3	75.1	72.5	64.1
25/07/18	53.0	22.6	53.6	27.7	79.6	76.9	29.1	47.3	59.6	63.6	72.4
15/08/18	59.6	31.8	60.5	37.4	78.8	81.4	58.2	61.4	67.6	83.8	118.5
11/10/18	88.8	-	44.6	30.3	90.7	72.5	48.2	58.5	84.7	75.7	78.1

Legenda: Localização dos perfis na Figura 1B.

4.3 Vulnerabilidade à erosão e inundação costeira

Os graus de vulnerabilidade da área de estudo são apresentados na Figura 10. Ao longo de toda área de estudo, há predomínio das classes de vulnerabilidade moderada e alta (> 60%). Na restinga da Marambaia, 9% da área encontra-se sob vulnerabilidade muito alta, 35% sob alta, 36% sob moderada e 20% sob baixa vulnerabilidade. Ao longo dos arcos Macumba e Recreio-Barra da Tijuca, há o predomínio da vulnerabilidade muito alta em 54% da linha de costa, 15% da área apresenta alta vulnerabilidade, 21%, moderada e 9% baixa. Na Tabela 4 são apresentados os parâmetros estatísticos das variáveis utilizadas neste estudo.



Figura 10. Índice de vulnerabilidade à erosão e à inundação costeira na restinga da Marambaia e nos arcos praias Macumba e Recreio-Barra da Tijuca. Fonte das imagens: A: Google Earth Pro, 09 de maio de 2017; B: Rafael Cortez, 16 de abril de 2013; C: Felipe Lucena, 25 de agosto de 2018; D: Jornal O Globo, janeiro de 2005; E: Orla Rio, 2022; F: Breylla Carvalho, 25 de julho de 2018; G: Wikimedia Commons.

Tabela 4. Parâmetros estatísticos das variáveis quantitativas utilizadas no Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC)

Variável	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-padrão
Declividade (°)	0.00	14.52	1.16	1.04
SCE (m)	32.19	145.19	58.62	12.05
Elevação (m)	0.28	2.60	1.29	1.00
LRR (m/ano)	-0.79	1.21	0.07	0.29
Tamanho médio do sedimento (Φ)	0.05	3.19	1.42	0.43
SLR (mm/ano)	-	-	2.38	-
Hs (m)	1.43	1.53	1.53	0.01
Amplitude da maré (m)	-	-	0.5	-
Densidade populacional (hab/km ²)	0	23447.00	1155.70	1915.85

Legenda: SCE: envelope da mudança da linha de costa; LRR: taxa de erosão/acreção; SLR: taxa de elevação do nível do mar; Hs: altura significativa da onda.

5. Discussão

No que diz respeito a análise dos dados de longo prazo, a influência da *La Niña* (fase positiva do SOI) se mostrou importante para o aumento na intensidade das condições meteo-oceanoográficas e consequente agravamento da erosão costeira. Tal característica já foi observada em outras praias do hemisfério sul, pioneiramente por Short *et al.* (2000) na praia de Narrabeen na Austrália, por Barnard *et al.* (2015) em praias australianas e neo-zelandesas, por Dutra *et al.* (2014) nas praias de Salvador e por Gutiérrez *et al.* (2016) e Orlando *et al.* (2019) nas praias uruguaias. Além disto, as taxas calculadas para as oscilações do nível do mar são condizentes com valores calculados para outros pontos da América Latina, como em Salvador e Mar del Plata, em que a taxa média é de 2 mm/ano.

Relativo aos dados de médio prazo, o registro das boias mostrou que as ondas mais energéticas foram observadas entre abril e outubro associadas ao quadrante S, assim como o que foi observado nos dados de longo prazo. Relativo à topografia, nota-se a tendência de acreção ou estabilidade da largura e do volume de novembro a março e de erosão entre abril e outubro, apontando para uma possível resiliência destes perfis em uma escala de médio prazo. A gradação lateral dos sedimentos parece indicar a direção predominante do transporte longitudinal para leste, tendo sido reportada para o arco Recreio-Barra por Coutinho (2007) e para outros setores do litoral fluminense voltados para o sul, como nas restingas da Marambaia e Massambaba (Borges, 1990; Muehe & Carvalho, 1993; Muehe & Corrêa, 1989).

Todo este mapeamento oceanográfico e geológico-geomorfológico da área de estudo, em escalas temporais distintas, permitiu detectar as vulnerabilidades e compreender quais características e processos são responsáveis por esta configuração. Na Marambaia, o alto grau de vulnerabilidade está associado aos seus aspectos físicos, geológicos e ecológicos (Tessler, 2008). No setor oeste, onde há áreas de vulnerabilidade muito alta, verificam-se pequenas lagoas próximas à linha de costa e o início de um setor mapeado como de transposição/canais de drenagem por Dadalto *et al.* (2022). No setor central, o rebaixamento topográfico e o estreitamento da restinga culminam em alta vulnerabilidade, expressas pelo recuo da linha de costa e na propensão a ruptura diante de cenários de elevação do nível do mar. Na extremidade leste, a alta variabilidade da linha de costa influenciada pela dinâmica dos canais de maré, torna a área suscetível à erosão.

A praia da Macumba apresenta setores erosivos em sua área central, que aliada a implementação de estruturas urbanas que não levaram em consideração a dinâmica costeira, tem sido frequente eventos erosivos, com prejuízos da ordem de milhões de reais e evidentemente exibindo uma vulnerabilidade muito alta (Lins-de-Barros *et al.*, 2019).

Ao longo do arco Recreio-Barra da Tijuca há a gradação de oeste para leste da vulnerabilidade, de moderada a muito alta. A vulnerabilidade moderada se deve em parte a setores da linha de costa com baixa ocupação urbana, por conta da faixa de areia em frente à lagoa de Marapendi fazer parte de uma Área

de Preservação Ambiental. Do centro para leste, há o aumento das intervenções urbanísticas e, conseqüentemente, o aumento da vulnerabilidade. Em especial neste setor, a concentração populacional aumentou muito desde a década de 1970, devido à especulação imobiliária na região e ao aumento da mancha urbana da cidade do Rio de Janeiro (Lins-de-Barros *et al.*, 2019).

Analisando os padrões encontrados neste trabalho com trabalhos realizados em outras praias do mundo, percebe-se um aumento nas taxas erosivas e conseqüente exposição à riscos costeiros, deixando-as mais vulneráveis. Nos últimos anos analisados (2008 a 2018) nota-se o aumento nas taxas erosivas entre os setores central e leste (máximo de $-4,1$ m/ano), coincidindo com um leve aumento nas taxas de elevação do nível do mar, culminando no maior grau a de vulnerabilidade à erosão e inundação costeira. Tendências similares são observadas em outras praias do mundo, sendo, em geral, agravadas pela influência antrópica. No Kuwait, foram registradas taxas erosivas de $9,73$ m/ano e de acreção de $10,88$ m/ano, sendo que os processos erosivos ocorreram em áreas que passaram por mudanças em sua morfologia (engordamento de praia) (Aladwani, 2022). Na costa de Tetouan, no Marrocos, a área que se encontra sob erosão é resultados de efeitos cumulativos de processos naturais e atividades antropogênicas (Benkhattab *et al.*, 2020). Um outro exemplo de costa com tendência erosiva é Nam Dinh, no Vietnã, que apresenta taxas altas (20 m/ano) que se iniciaram no final do século 18 e são resultado dos efeitos combinados de diminuição da carga sedimentar fluvial e de processos de subsidência/elevação do nível do mar (Nguyen Hao & Takewaka, 2022).

6. Conclusões

O mapeamento de diferentes parâmetros oceanográficos e geológico-geomorfológicos em diferentes escalas temporais leva a uma melhor compreensão da dinâmica e dos processos costeiros a que as praias arenosas estão expostas. Neste trabalho, observou-se que cada setor analisado mostrou um comportamento diferente na variabilidade da linha costeira. As teleconexões climáticas interanuais influenciaram as condições meteo-oceanográficas e conseqüentemente a resposta da linha de costa, onde os anos de *La Niña* são os mais energéticos com erosão mais intensa. Além disto, nos últimos 18 anos houve o aumento na frequência e magnitude dos eventos de tempestade e elevação do nível do mar, ocasionando a erosão das praias da área de estudo. Com os dados de médio prazo, pode-se deduzir que a resultante do transporte sedimentar seja para leste e que há a recuperação dos perfis praias erodidos durante eventos de tempestade. Por fim, a vulnerabilidade ambiental na restinga da Marambaia é influenciada pelos aspectos naturais, enquanto que na Macumba e Recreio-Barra há uma clara influência antrópica. Todos os resultados encontrados neste trabalho vão na mesma direção de outros trabalhos realizados em outras praias arenosas do mundo, mostrando a relevância dos métodos utilizados, bem como a importância de se entender os padrões costeiros, já que as áreas sob erosão vêm aumentando ao longo do tempo.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, como Bolsa de Doutorado (DS) e pelo Programa de Intercâmbio de Doutorado PDSE [processo #88881.132411/206-01, número 19/2016] para a primeira autora. Agradecemos também à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pelo apoio financeiro para a realização das pesquisas e trabalhos de laboratório. A todos os estudantes da FAOC/UERJ e IGEO/UFRJ que ajudaram nos trabalhos de campo de 2016 a 2018. E agradecimentos especiais para Leonardo Klumb de Oliveira (UFRB) por compartilhar os registros de onda do modelo WW3, e para Mauro Cirano e Fernando Dix, do programa SimCosta que gentilmente forneceram os registros das bóias de Copacabana. Gostaríamos de agradecer ao revisor por suas sugestões que ajudaram a melhorar substancialmente este manuscrito.

Bibliografia

- Aladwani, N. S. (2022). Shoreline change rate dynamics analysis and prediction of future positions using satellite imagery for the southern coast of Kuwait: A case study. *Oceanologia*, 64 (3), 417-432. <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2022.02.002>
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. de M. & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22 (6), 711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Barik, G., Guru, B. & Sangma, F. (2021). Shoreline Changes Analysis and Forecast Using Digital Shoreline Assessment System 5.0: Evidences from Parts of East Coast of India. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 49 (11), 2815-2830. <https://doi.org/10.1007/s12524-021-01424-4>
- Barnard, P. L., Short, A. D., Harley, M. D., Splinter, K. D., Vitousek, S., Turner, I. L., Allan, J., Banno, M., Bryan, K. R., Doria, A., Hansen, J. E., Kato, S., Kuriyama, Y., Randall-Goodwin, E., Ruggiero, P., Walker, I. J., & Heathfield, D. K. (2015). Coastal vulnerability across the Pacific dominated by El Niño/Southern Oscillation. *Nature Geoscience*, 8 (10), 801-807. <https://doi.org/10.1038/ngeo2539>
- Benkhattab, F. Z., Hakkou, M., Bagdanavičiūtė, I., Mrini, A. El, Zagaoui, H., Rhinane, H. & Maanan, M. (2020). Spatial-temporal analysis of the shoreline change rate using automatic computation and geospatial tools along the Tetouan coast in Morocco. *Natural Hazards*, 104 (1), 519-536. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04179-2>
- Berger, A. R. (1997). Assessing rapid environmental change using geoindicators. *Environmental Geology*, 32 (1), 36-44. <https://doi.org/10.1007/s002540050191>
- Bevacqua, A., Yu, D. & Zhang, Y. (2018). Coastal vulnerability: Evolving concepts in understanding vulnerable people and places. *Environmental Science and Policy*, 82 (January), 19-29. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.01.006>
- Boak, E. H. & Turner, I. L. (2005). Shoreline definition and detection: a review. *Journal of Coastal Research*, 214 (214), 688-703. <https://doi.org/10.2112/03-0071.1>
- Borges, H. V. (1990). *Dinâmica sedimentar da Restinga da Marambaia e Baía de Sepetiba*. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Brasil, M. do M. A. (2018). *Panorama da erosão costeira no Brasil* (D. Muehe (ed.)). MMA.

- Carvalho, B. C., Dalbosco, A. L. P. & Guerra, J. V. (2020). Shoreline position change and the relationship to annual and interannual meteo-oceanographic conditions in Southeastern Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 235 (January), 106582. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106582>
- Carvalho, B. C. & Guerra, J. V. (2020). Coastal Vulnerability of Rio de Janeiro Shoreline (SE Brazil) due to Natural and Social Impacts. *Journal of Coastal Research*, 95 (sp1), 759. <https://doi.org/10.2112/si95-148.1>
- Carvalho, B. C., Lins-de-Barros, F. M., Silva, P. L. da, Pena, J. do N. & Guerra, J. V. (2021). Morphological variability of sandy beaches due to variable oceanographic conditions: a study case of oceanic beaches of Rio de Janeiro city (Brazil). *Journal of Coastal Conservation*, 25 (2), 28.
- Carvalho, J. L. B., Roberts, P. J. W. & Roldão, J. F. (2002). Field Observations of Ipanema Beach Outfall. *Journal of Hydraulical Engineering*, 128 (February), 151-160. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2002\)128:2\(151\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2002)128:2(151))
- Cooper, J. A. G., Masselink, G., Coco, G., Short, A. D., Castelle, B., Rogers, K., Anthony, E., Green, A. N., Kelley, J. T., Pilkey, O. H. & Jackson, D. W. T. (2020). Sandy beaches can survive sea-level rise. *Nature Climate Change*, 10 (November), 993-996. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00934-2>
- Coutinho, N. M. (2007). *[Erosão e deposição de sedimentos no arco de praia da Barra Da Tijuca / Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro]*, Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Criado-Sudau, F. F., Nemes, D. D. & Gallo, M. N. (2019). Rip Currents Dynamic of a Swell Dominated Microtidal Beach. *Journal of Coastal Research*, Special Is, 121-127. <https://doi.org/10.2112/SI92-014.1>
- Dadalto, T. P., Carvalho, B. C., Guerra, J. V., Reis, A. T. dos & Silva, C. G. (2022). Holocene morpho-sedimentary evolution of Marambaia Barrier Island (SE Brazil). *Quaternary Research*, 105, 182-200. <https://doi.org/10.1017/qua.2021.43>
- Dolan, R. & Davis, R. E. (1992). An intensity scale for Atlantic Coast Northeast storms. *Journal of Coastal Research*, 8 (4), 840-853.
- Dutra, F. R. L. S., Cirano, M., Bittencourt, A. C. S. P., Tanajura, C. A. S., & Lima, M. (2014). Meteorological tides and episodes of severe coastal erosion on the coast of Salvador, Bahia State, Brazil. *Brazilian Journal of Geophysics*, 32 (4), 615-636.
- Folk, R. & Ward, W. (1957). Brazos River Bar: A Study in the Significance of Grain Size Parameters. In *SEPM Journal of Sedimentary Research*, 27 (1), 3-26. <https://doi.org/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D>
- Friederichs, Y. L., Reis, A. T. dos, Silva, C. G., Toulemonde, B., Maia, R. M. da C. & Guerra, J. V. (2013). Arquitetura sísmica do sistema fluvio-estuarino da Baía de Sepetiba preservado na estratigrafia rasa da plataforma adjacente, Rio de Janeiro, Brasil. *Brazilian Journal of Geology*, 43 (1), 124-138. <https://doi.org/10.5327/Z2317-48892013000100011>
- GOOS-Brasil (2019). *GLOSS Brasil Global Sea Level Observing System*. <http://www.goosbrasil.org/gloss/dados/>
- Gornitz, V., White, T. W. & Cushman, R. M. (1990). Vulnerability of the East coast, U.S.A. to future sea level rise. *Journal of Coastal Research*, 9, 201-237.
- Gutiérrez, O., Panario, D., Nagy, G. J., Bidegain, M., & Montes, C. (2016). Climate teleconnections and indicators of coastal systems response. *Ocean and Coastal Management*, 122, 64-76. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.01.009>
- Hemisphere GNSS (n.d.). *AtlasLink TM Smart Antenna*. 875.
- Hzami, A., Heggy, E., Amrouni, O., Mahé, G., Maanan, M. & Abdeljaouad, S. (2021). Alarming coastal vulnerability of the deltaic and sandy beaches of North Africa. *Scientific Reports*, 11 (1), 2320. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77926-x>

- Krumbein, W. C. & Pettijohn, F. J. (1938). *Manual of Sedimentary Petrography*. *Appleton Century Crofts*. <https://doi.org/10.1017/S0016756800018744>
- Lins-de-Barros, F. M., Klumb-Oliveira, L. A. & Lima, R. de F. (2018). Avaliação histórica da ocorrência de ressacas marinhas e danos associados entre os anos de 1979 e 2013 no litoral do estado do Rio de Janeiro (Brasil). *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 18 (2), 85-102. <https://doi.org/10.5894/rgci-n146>
- Lins-de-Barros, F. M., Sauzeau, T. & Guerra, J. V. (2019). Historical evolution of seafront occupation in France (Bay of Biscay) and Brazil (Rio de Janeiro) face to coastal erosion vulnerability and risks (19th-21th centuries). *Confins*, 39. <https://doi.org/10.4000/confins.18175>
- López Royo, M., Ranasinghe, R. & Jiménez, J. A. (2016). A Rapid, Low-Cost Approach to Coastal Vulnerability Assessment at a National Level. *Journal of Coastal Research*, 320, 932-945. <https://doi.org/10.2112/jcoastres-d-14-00217.1>
- Losada, I. J., Reguero, B. G., Méndez, F. J., Castanedo, S., Abascal, A. J. & Mínguez, R. (2013). Long-term changes in sea-level components in Latin America and the Caribbean. *Global and Planetary Change*, 104, 34-50. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.02.006>
- Mahendra, R. S., Mohanty, P. C., Francis, P. A., Joseph, S., Nair, T. M. B. & Kumar, T. S. (2021). Holistic approach to assess the coastal vulnerability to oceanogenic multi-hazards along the coast of Andhra Pradesh, India. *Environmental Earth Sciences*, 80 (18), 651. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09920-z>
- Masselink, G. & Hughes, M. G. (2003). *Introduction to coastal processes and geomorphology*. Hodder Arnold.
- McAllister, E., Payo, A., Novellino, A., Dolphin, T. & Medina-Lopez, E. (2022). Multispectral satellite imagery and machine learning for the extraction of shoreline indicators. *Coastal Engineering*, 174, 104102. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2022.104102>
- McFeeters, S. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17 (7), 1425-1432.
- Mentaschi, L., Vousdoukas, M. I., Pekel, J. F., Voukouvalas, E. & Feyen, L. (2018). Global long-term observations of coastal erosion and accretion. *Scientific Reports*, 8 (1), 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-30904-w>
- Molina, R., Manno, G., Lo Re, C., Anfuso, G. & Ciraolo, G. (2019). Storm energy flux characterization along the mediterranean coast of Andalusia (Spain). *Water*, 11 (3), 509. <https://doi.org/10.3390/w11030509>
- Muehe, D. (1971). Subsídios ao estudo da geomorfologia costeira da Praia dos Bandeirantes - restinga de Jacarepaguá. *Revista Brasileira de Geografia*, 33 (2), 103-106.
- Muehe, D. & Carvalho, V. G. De. (1993). Geomorfologia, cobertura sedimentar e transporte de sedimentos na plataforma continental interna entre a Ponta de Saquarema e o Cabo Frio (RJ). *Brazilian Journal of Oceanography*, 41 (1-2), 1-12. <https://doi.org/10.1590/S1679-87591993000100001>
- Muehe, D. & Corrêa, C. H. T. (1989). Dinâmica de praia e transporte de sedimentos na restinga da Maçambaba, RJ. *Revista Brasileira de Geociências*, 19 (3), 387-392.
- Muehe, D. & Corrêa, C. H. T. (1988). Os " arenitos de restinga " do cordão litorâneo da Maçambaba / lagoa de Araruama - RJ. In SBG (Ed.), *Anais do XXXV Congresso Brasileiro de Geologia*, (2), 553-558 <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4043/14008-M5>
- Muehe, D., Lins-de-Barros, F. M., Bulhões, E. M. R., Klumb-Oliveira, L. A., Pinto, N. & Sperle, M. (2018). Rio de Janeiro. In Ministério de Meio Ambiente (Ed.), *Panorama da erosão costeira no Brasil* (pp. 478-545). MMA.

- Muehe, D. & Valentini, E. (1998). *O Litoral do Estado do Rio de Janeiro: uma caracterização físico-ambiental*. FEMAR.
- Nascimento, M. X. do. (2013). *Análise das Condições meteo-oceanográficas na região da baía de Santos*. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Nazeer, M., Waqas, M., Shahzad, M. I., Zia, I. & Wu, W. (2020). Coastline Vulnerability Assessment through Landsat and Cubesats in a Coastal Mega City. *Remote Sensing*, 12 (5), 749. <https://doi.org/10.3390/rs12050749>
- Nemes, D. D., Criado-Sudau, F. F. & Gallo, M. N. (2019). Beach Morphodynamic Response to a Submerged Reef. *Water*, 11 (340), 1–20. <https://doi.org/10.3390/w11020340>
- Nguyen Hao, Q. & Takewaka, S. (2022). Historical reconstruction of shoreline evolution at the Nam Dinh Coast, Vietnam. *Coastal Engineering Journal*, 1-18. <https://doi.org/10.1080/21664250.2022.2073748>
- Noor, N. M. & Abdul Maulud, K. N. (2022). Coastal Vulnerability: A Brief Review on Integrated Assessment in Southeast Asia. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10 (5), 595. <https://doi.org/10.3390/jmse10050595>
- Oliveira, F. S. C., Kampel, M. & Amaral, S. (2008). Multitemporal assessment of the geomorphologic evolution of the Restinga of Marambaia, Rio de Janeiro, Brazil. *International Journal of Remote Sensing*, 29 (19), 5585-5594. <https://doi.org/10.1080/01431160802061696>
- Oloyede, M. O., Williams, A. B., Ode, G. O. & Benson, N. U. (2022). Coastal Vulnerability Assessment: A Case Study of the Nigerian Coastline. *Sustainability*, 14 (4), 2097. <https://doi.org/10.3390/su14042097>
- Orlando, L., Ortega, L., & Defeo, O. (2019). *Multi-decadal variability in sandy beach area and the role of climate forcing*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 218 (December 2018), 197-203. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.12.015>
- Parente, C. E., Nogueira, I. C. M. & Ribeiro, E. O. (2015). Climatologia de ondas. In R. P. Martins & G. S. Grossmann-Matheson (Eds.), *Meteorologia e Oceanografia* (pp. 55–96). Elsevier Editora Ltda. <https://doi.org/10.1016/B978-85-352-6208-7.50009-X>
- Pawlowicz, R., Beardsley, B. & Lentz, S. (2002). Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T-TIDE. *Computers & Geosciences*, 28, 929-937.
- Payo, A., Jigena Antelo, B., Hurst, M., Palaseanu-Lovejoy, M., Williams, C., Jenkins, G., Lee, K., Favis-Mortlock, D., Barkwith, A. & Ellis, M. A. (2018). Development of an automatic delineation of cliff top and toe on very irregular planform coastlines (CliffMetrics v1.0). *Geoscientific Model Development*, 11 (10), 4317-4337. <https://doi.org/10.5194/gmd-11-4317-2018>
- Pena, J. do N. & Lins-de-Barros, F. M. (2015). Gestão de praias urbanas e efeitos de eventos de ressaca: estudo de caso das praias urbanas oceânicas da cidade do Rio de Janeiro. XI Encontro Nacional da ANPEGE, 8122-8133. <http://www.enanpege.ggf.br/2015/anais/arquivos/29/788.pdf>
- Reguero, B. G., Losada, I. J. & Méndez, F. J. (2019). A recent increase in global wave power as a consequence of oceanic warming. *Nature Communications*, 10 (205), 1-14. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-08066-0>
- Rey, W., Ruiz-Salcines, P., Salles, P., Urbano-Latorre, C. P., Escobar-Olaya, G., Osorio, A. F., Ramírez, J. P., Cabarcas-Mier, A., Jigena-Antelo, B. & Appendini, C. M. (2021). Hurricane Flood Hazard Assessment for the Archipelago of San Andres, Providencia and Santa Catalina, Colombia. *Frontiers in Marine Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.766258>
- Santos, C. L., Silva, M. A. M., Salvador, M. V. S., Luiza, C., Santos, D. O. S., Augusta, M., Da, M., Vinicius, M. & Salvador, S. (2004). Dinâmica sazonal e os efeitos das ressacas nas praias de Niterói/RJ. *Revista Brasileira de Geociências*, 34 (3), 355-360.

- Satta, A. (2014). *An Index-based method to assess vulnerabilities and risks of Mediterranean coastal zones to multiple hazards [Ca' Foscari University of Venice]*.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4825.4969>
- Sekovski, I., Del Río, L. & Armaroli, C. (2020). Development of a coastal vulnerability index using analytical hierarchy process and application to Ravenna province (Italy). *Ocean & Coastal Management*, 183, 104982.
- Short, A. D., Trembanis, A., & Turner, I. L. (2000). Beach oscillation, rotation and the Southern Oscillation, Narrabeen Beach, Australia. *27th International Conference on Coastal Engineering*, 2439-2452.
<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104982>
- Silva, A. L. C. da, Silva, M. A. M. & Santos, C. L. (2008). Comportamento morfológico e sedimentar da praia de Itaipuaçu (Maricá, RJ) nas últimas três décadas. *Revista Brasileira de Geociências*, 38 (1), 87-97.
- Silva, J. X. da, Pereira, M. L. F., Marques, J. S., Muehe, D. & Amador, E. da S. (1973). Análise da variação granulométrica de sedimentos na Barra da Tijuca. *Revista Brasileira de Geografia*, 35 (1), 105-140.
- Solari, S., Alonso, R. & Teixeira, L. (2018). Analysis of Coastal Vulnerability along the Uruguayan coasts. *Journal of Coastal Research*, 85, 1536-1540.
<https://doi.org/10.2112/si85-308.1>
- Spinosa, A., Ziemba, A., Saponieri, A., Damiani, L. & El Serafy, G. (2021). Remote Sensing-Based Automatic Detection of Shoreline Position: A Case Study in Apulia Region. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9 (6), 575.
<https://doi.org/10.3390/jmse9060575>
- Tessler, M. (2008). Potencial de Risco Natural. In MMA (Ed.), *Macrodiagnostico da Zona Costeira e Marinha do Brasil* (pp. 93-103).
- Thieler, E. R., Himmelstoss, E. A., Zichichi, J. L. & Ergul, A. (2017). Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 4.0—an ArcGIS Extension for Calculating Shoreline Change (Ver. 4.4, July 2017). In Report 2008-1278.
- Velasquez-Montoya, L., Sciaudone, E. J., Smyre, E. & Overton, M. F. (2021). Vulnerability Indicators for Coastal Roadways Based on Barrier Island Morphology and Shoreline Change Predictions. *Natural Hazards Review*, 22 (2).
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)NH.1527-6996.0000441](https://doi.org/10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000441)
- Violante-Carvalho, N. (1998). *Investigação sobre a Evolução do Clima de Ondas na Baía de Campos e a Correlação com as Situações Meteorológicas Associadas*. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Vousdoukas, M. I., Ranasinghe, R., Mentaschi, L., Plomaritis, T. A., Athanasiou, P., Luijendijk, A. & Feyen, L. (2020). Sandy coastlines under threat of erosion. *Nature Climate Change*, 10 (March), 260-277. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0697-0>
- Wiles, E., Loureiro, C. & Cawthra, H. (2022). Shoreline variability and coastal vulnerability: Mossel Bay, South Africa. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 268, 107789.
<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2022.107789>
- Young, I. R. & Ribal, A. (2019). Multiplatform evaluation of global trends in wind speed and wave height. *Science*, 9527 (April), eaav9527.
<https://doi.org/10.1126/science.aav9527>

Clasificación de la amenaza por incendios forestales en campamentos del Anfiteatro de Valparaíso

Classification of the threat of forest fires in camps of the Valparaíso Amphitheater

Víctor Nelson Elgueta Gutiérrez¹

Recibido 24 de febrero de 2023; aceptado 5 de junio de 2023

RESUMEN

Con el fin de aportar en la reducción de los impactos negativos que generan los incendios forestales en asentamientos específicos, como lo son los campamentos; el presente estudio aborda la situación de aquellos asentamientos precarios ubicados en el anfiteatro de la comuna de Valparaíso y la evaluación y clasificación de la amenaza por incendio forestal con respecto a estos. Se propone una adaptación metodológica a partir de variados estudios similares, pero esta vez enfocado sólo en la amenaza y contemplando variables en base a tres categorías como lo es la ocurrencia histórica, la ignición y la propagación. Para tal metodología se hace uso del análisis multicriterio y el método AHP con el fin de estimar distintos pesos para cada variable en la ponderación y obtener mapas que muestren la clasificación en distintos niveles de amenaza. Los resultados de este estudio dan cuenta de ciertos grupos de campamentos o campamentos por sí solos que tienden a ser más propensos a que ocurran incendios forestales en sus alrededores o dentro de estos, sobre todo en áreas de interfaz urbano rural y en las partes altas del anfiteatro de Valparaíso.

Palabras clave: *campamentos, incendios forestales, amenaza, multicriterio, Valparaíso.*

ABSTRACT

In order to contribute to the reduction of the negative impacts generated by forest fires in specific settlements, such as the campamentos (informal settlements); the present study addresses the situation of those precarious

¹ Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile, correo electrónico: victor.nelson.elgueta.g@gmail.com. ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2310-9474>

settlements located in the amphitheater of the commune of Valparaíso and the evaluation and classification of the threat by forest fire with respect to these settlements. A methodological adaptation is proposed from various similar studies, but this work is focused only on the threat and contemplates variables based on three categories such as historical occurrence, ignition and propagation. For this methodology, multicriteria analysis and the AHP method are used to estimate different weights for each variable in the weighting and obtain maps that show the classification at different levels of threat. The results of this study show that certain groups of campamentos or informal settlements on its own tend to be more prone to wildfires occurring in or around their surroundings, especially in rural-urban interface areas and in the upper parts of the Valparaíso amphitheater.

Key words: Informal settlements, forest fires, threat, multicriteria, Valparaíso.

1. Introducción

La región de Valparaíso es habitualmente afectada por incendios. Uno de los incendios más grandes de su historia se produjo el 12 de abril del 2014, con una duración de cuatro días y consumió doce barrios completos, afectando siete de los cuarenta y dos cerros de la ciudad (El Litre, La Cruz, Las Cañas, Mariposas, Merced, Ramaditas, Rocuant). A partir de estos casos, se realiza el presente trabajo, para generar un aporte en la reducción de impactos negativos en casos de emergencias y catástrofes, enfocado en los incendios forestales y, para las personas que habitan en sectores denominados comúnmente como “campamentos”.

El objetivo radica en clasificar la amenaza de incendios forestales que existe alrededor de los campamentos localizados en el Anfiteatro de Valparaíso; mediante: i) La identificación y aplicación de variables y procesos metodológicos óptimos acerca de la amenaza de incendios forestales en ubicaciones similares al caso de estudio, ii) Clasificación en niveles de amenaza a los campamentos del anfiteatro de Valparaíso y iii) Con la evaluación de los resultados obtenidos a partir de la metodología aplicada.

2. Área de estudio

El anfiteatro de la comuna de Valparaíso, Chile, se emplaza sobre una morfología de pliegues y quiebres, que termina bruscamente en una estrecha franja de borde del mar (Kapstein, 2009). Ajustándose el presente estudio a los campamentos que se ubican en esta zona de la comuna debido a las particulares condiciones antrópicas y topográficas que presenta.

Según Valdivia (2020), existe una conformación de aproximadamente 42 cerros, los cuales bordean a modo de anfiteatro una extensión plana enfrentada al mar, limitada por este hacia el norte y el oeste, creando un crecimiento ordenado por sus bordes naturales en una relación entre mar y cerro. El lugar está formado por terrenos en talud natural que circundan la costa en torno a la bahía homónima. Mientras que su clima está asociado al

de tipo mediterráneo costero, caracterizado por ser de régimen estacional de precipitaciones y temperaturas, además de una estación invernal fría y húmeda, y una estación estival cálida y seca (Aschmann, 1984; Luebert y Pliscoff, 2012). En tanto, las laderas de sus cerros están cubiertas naturalmente de matorrales bajos, agrupándose en las quebradas, además de árboles que constituyen el bosque xerófilo, que es característico de la zona (Citado por Vidal de Prados, 2017, de Araya, 2014).

Frente a tales condiciones, Vidal de Prados (2017) argumenta que se ha llevado a cabo una progresiva expansión urbana hacia los cerros produciéndose una ocupación espontánea del territorio y configurándose un patrón de crecimiento irregular. Ante tal situación, en el anfiteatro se han asentado 55 campamentos de un total de 59 que posee la comuna, según el catastro de campamentos elaborado por Techo y CES Chile (2022) (Figura 1).

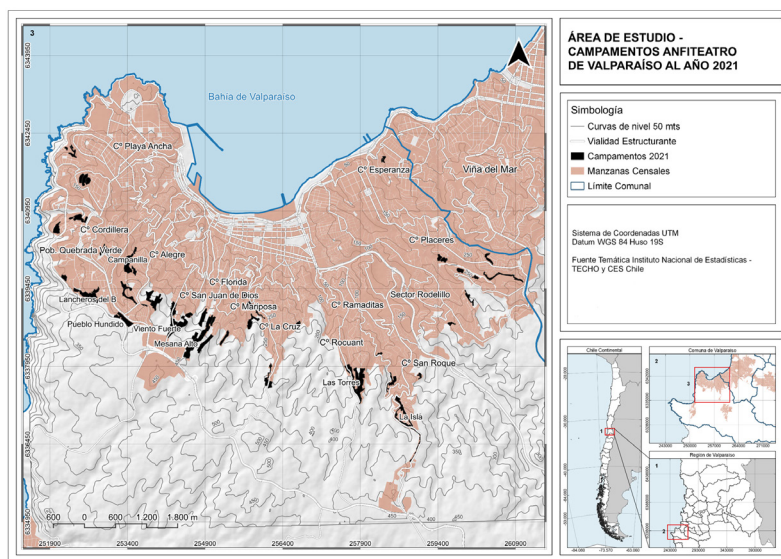


Figura 1. Campamentos del Anfiteatro de Valparaíso.

Fuente: Elaboración propia.

3. Propuesta metodológica

Se considera como referencia los siguientes estudios: “Programa de resiliencia climática para el área metropolitana de Valparaíso”, realizado por el Banco de desarrollo para América Latina (CAF, 2019), Campamentos en áreas de riesgo según el Instrumento de Planificación Territorial del Centro de Estudios de Ciudad y Territorio del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU, 2020), Estudio y evaluación del riesgo de incendios forestales en la interfaz urbano-forestal de las comunas que componen el Área Metropolitana de Valparaíso. Periodo 2000-2017, de Alegría (2020), Campamentos en zonas de peligro, MINVU

(2021) y Asentamientos informales y su influencia en el riesgo de incendios forestales: caso de Viña del Mar, de Román (2021) como principales referencias metodológicas para el presente trabajo.

En primer lugar, para evaluar la amenaza de los campamentos ante incendios forestales, es necesario precisar la definición del concepto de amenaza. Como señala el MINVU (2021), a partir de Birkmann, Cardona, Carreño, Barbat, Pelling, Schneiderbauer, Kienberger, Keiler, Alexander, Zeil y Welle (2013), el concepto de amenaza se utiliza para describir la posible ocurrencia de eventos naturales, socio-naturales o antropogénicos que pueden tener un impacto físico, social, económico y ambiental en un área determinada y durante un período de tiempo. Por lo anterior, es relevante considerar a la amenaza de incendios forestales como la probabilidad de ocurrencia de un suceso de origen natural o antrópico (incendio forestal), el cual puede manifestarse en un lugar específico (un campamento, por ejemplo), con una intensidad y duración determinadas (MINVU, 2021).

Se proponen tres tipos de variables para evaluar la amenaza de incendio forestal con relación a los campamentos. La primera refiere a la ocurrencia histórica, tomando en cuenta los registros de incendios para el periodo 1998-2018 y, el área quemada, contemplando las cicatrices de fuego de los incendios forestales para el mismo periodo de tiempo. Mientras que el segundo y tercer tipo de variable, tomaba en cuenta la ignición y la propagación de un incendio (MINVU, 2021).

Con respecto a estos dos últimos tipos de variables, Chuvieco (2009) estima que el peligro integrado de incendios es considerado como el producto de la ignición y la propagación. Esta variable indica la posibilidad existente de que el combustible forestal entre en ignición al ponerse en contacto con una fuente de calor (Mouna et al., 1998). Mientras que, en la propagación, se hace referencia a las condiciones promedio que explican la dispersión de un fuego una vez que se inicia Chuvieco (2009).

Tabla 1. Variables de ocurrencia histórica, ignición y propagación escogidas

Tipo de variable	Variable
Ocurrencia histórica	Distancia a registros de incendios
	Distancia a área quemada (cicatrices)
Ignición	Temperatura
	Exposición (orientación) de ladera
	Distancia a carreteras y caminos de huella/sendero
	Cobertura de usos de suelo
	Tipología de Interfaz Urbano-Forestal
Propagación	Pendiente
	Cobertura de usos de suelo
	NDVI

Fuente: elaboración propia.

La Tabla 1 muestra los tres tipos o grupos de variables considerados para este estudio. Las variables de ocurrencia histórica son propuestas con relación a distancias de cada variable; en tanto que las variables de ignición y propagación incluyen principalmente condiciones del tiempo atmosférico, topográficas y del medio construido, entre otras.

3.1. Variables de ocurrencia histórica

3.1.1. Distancia a registros de incendios

En Chile, una de las maneras de acceder a los datos es a partir de los registros de incendios recopilados por la Corporación Nacional Forestal (CONAF), permitiendo examinar la frecuencia con la que estos eventos ocurren, así como también el permitir estudiar su comportamiento en la zona. En el anfiteatro de Valparaíso se han registrado en zonas periféricas del área urbana, en donde la ubicación de los campamentos del anfiteatro es mayoritaria a simple vista. Por aquello, resulta relevante considerar la distancia a los puntos registrados de incendios como variable para evaluar y clasificar la amenaza.

3.1.2. Distancia a área quemada (cicatrices)

Hay que considerar que la superficie afectada por el incendio no está necesariamente relacionada con el número de incendios producidos. Ante esto, el Plan Maestro para la Gestión Del Riesgo de Incendios Valparaíso (2018) argumentaba que 372 focos de incendios urbano forestal se habían desarrollado a menos de 100 metros de distancia de los campamentos de la comuna de Valparaíso, correspondiendo a un 11,43% del total entre los focos que han sucedido en el periodo 1998 y 2017. Mientras que los puntos de ignición del periodo entre los años 2012 y 2017 (834 focos), 114 focos de incendio urbano forestal, que corresponden a un 12,9%, se habían originado cercano a campamentos.

El CR2 e Itrend, han recogido la información de las cicatrices dejadas por los incendios forestales en el centro sur del país. Usando GEE, lograron construir una base de datos detallada y dinámica de las cicatrices causadas por más de 8 mil incendios en el paisaje del país, que representan un 66,6% de los incendios oficialmente registrados entre 1985 y 2018 (CR2).

3.2. Variables de ignición

3.2.1. Temperatura

CONAF indica que aquellos sectores en donde se llegue o superen los 30 °C se ven influenciados en las condiciones de la vegetación, se incrementa la desecación de estas y propicia una combustión más rápida, por lo tanto, ocurre una mayor transmisión de calor, la que puede exacerbar el inicio y propagación de un incendio forestal (Banco de Desarrollo de América Latina [CAF], 2019).

Como propuesta, se consideran trabajos como los de Barsi *et al.* (2003), Barsi *et al.* (2005), Chaves (2021) y las especificaciones de productos del Servicio

Geológico de Estados Unidos (USGS). Se obtuvo la banda termal N°10 y el archivo MTL de los satélites 8 y 9 de la serie Landsat, de los meses más cálidos del año y con rango horario en torno a las 14:30 horas aproximadamente, durante el periodo 2014 y 2022.

A cada imagen se le realizó una corrección para obtener la radiancia espectral al techo de la atmósfera (TOA) y posterior a aquello se realizó un álgebra de ráster entre las imágenes obtenidas para conocer la media del periodo mencionado. Hay que mencionar que para el método empleado se tomó especial consideración que la fecha y hora de las imágenes descargadas no calzara con el desarrollo de un incendio forestal.

La temperatura superficial promedio de los campamentos resulta sobre 35 °C según el método escogido. Probablemente, la materialidad del suelo y del medio construido ha contribuido a obtener valores tan altos al medir la reflectancia superficial en tales asentamientos.

3.2.2. Exposición (orientación) de ladera

Como indican Sarricolea y Romero (2010), esta variable se relaciona con las cargas de energía solar recibidas por las superficies terrestres, en la cual se utilizan las 8 exposiciones básicas de la rosa de los vientos (N, NE, E, SE, S, SO, O, NO). Para la amenaza de incendios forestales, la exposición de ladera se considera bajo la premisa de que aquellas laderas de exposición Norte presentan una mayor insolación (en el hemisferio sur) (solana), por lo tanto, son más propensas a favorecer la ignición del fuego debido a las condiciones en términos de humedad (CAF, 2019).

En este caso, los campamentos con exposición de ladera orientada hacia el NE y NO, son los que poseen mayor nivel de amenaza de incendio producto del significativo tiempo de insolación del terreno en el que se ubican.

3.2.3. Distancia a carreteras y caminos de huella/sendero

La distancia a caminos junto con la proximidad a zonas urbanas son los factores humanos más frecuentemente utilizados en la elaboración de modelos de ocurrencia de incendios forestales (Gutiérrez *et al.*, 2020). En el trabajo perteneciente al CAF (2019) señalaban que según datos de CONAF (2018), alrededor del 75,9% de los incendios forestales se producen cercanos a caminos principales, secundarios o senderos.

En el anfiteatro, muchos de los caminos de huella y sendero enlazan y tienen puntos de origen-destino en los campamentos de estudio, especialmente los ubicados en las cotas más altas, los cuales conectan con las zonas rurales de la comuna hacia el Sur.

3.2.4. Cobertura de usos de suelo

Esta variable es importante debido a que gracias a ella es posible identificar qué elementos en el área de estudio se ven más afectados por los incendios. Por ejemplo, según estadísticas de CONAF (2018) los incendios forestales en el área

metropolitana de Valparaíso se inician mayoritariamente en áreas con presencia de vegetación de tipo pastizal y matorral (90%), seguido de bosques (6%) debido a que generalmente estos tipos de vegetación se ven mayormente afectados ante los efectos del calor externo, contribuyendo a la pérdida de humedad por los procesos de desecamiento del tejido vegetal (CAF, 2019).

Para construir la variable aludida se consideró una imagen Sentinel 2A con reflectancia a nivel de superficie, una cobertura de nubes cercana al 0% para el área de estudio y con fecha del 23 de enero de 2022, buscando acercarse al periodo más seco del año. De la imagen multiespectral se tuvo en cuenta las bandas con resolución de 10 metros: 2, 3, 4, 8 y las bandas con resolución de 20 metros: 5, 6, 7, 11, 12; en la cual para estas últimas bandas se realizó un refinado pancromático y construir en base a aquello, un ráster virtual con el fin de crear distintos escenarios espectrales.

Posteriormente, se realizó el trabajo de clasificación contemplando el método Random Forest (RF), que consiste en una combinación de predictores de árboles, de modo en el que cada árbol depende de los valores de un vector aleatorio muestreado de forma independiente y con una misma distribución para todos los árboles del bosque (Breiman, 2001).

3.2.5. Tipología de Interfaz Urbano-Forestal

Corresponde a los sectores emplazados en el límite sur de Los Cerros, que en general se distribuyen en torno al límite urbano sur y el camino La Pólvara. Se caracterizan por la precariedad del asentamiento y ocupación del territorio, las que están determinadas por la complejidad geomorfológica donde se

Tabla 2. Subtipos de interfaz urbano forestal y su adaptación para el presente estudio

Informe del programa de resiliencia climática para el área metropolitana de Valparaíso	Adaptación
Baja densidad de edificaciones con vegetación densa y continua	Mediana o alta densidad con suelo desnudo/urbano
Baja densidad de edificaciones con vegetación dispersa	
Mediana densidad de edificaciones con vegetación dispersa	Mediana densidad con bosque
Mediana densidad de edificaciones con vegetación densa y continua	
Alta densidad de edificaciones con vegetación densa y continua	Alta densidad c/ bosque
Muy Alta densidad de edificaciones con vegetación densa y continua	Alta densidad con pastizal y matorral
Muy Alta densidad de edificaciones con vegetación dispersa	
Alta densidad de edificaciones con vegetación dispersa	Mediana densidad con pastizal y matorral

Fuente: elaboración propia.

emplazan, las condiciones de vulnerabilidad socioeconómica de sus habitantes, los problemas de conectividad, espacios públicos e infraestructura y entre otros elementos (citado por Plan Maestro para la Gestión del Riesgo de Incendios Valparaíso, 2018, de PNUD, 2014; Pino, 2015).

Debido a la dificultad para construir de forma precisa la interfaz y representar la densidad de edificaciones, se estimó categorizar de manera cualitativa a través de la fotointerpretación del mapa base BING (actualizado al año 2022), ciertas características que permitieran identificar tal variable. A partir de las condiciones del terreno que proponía el programa de resiliencia climática para el área metropolitana de Valparaíso (CAF, 2019), se realizó una adaptación de las características de la tipología de interfaz, construyéndose cinco subtipos (Tabla 3) para identificar a cada campamento.

3.2. Variables de propagación

3.2.1. Pendiente

La pendiente del terreno donde se ubican las viviendas tiene múltiples desventajas, a mayor pendiente, el fuego se propaga más rápido, es más complejo de combatir para los equipos de emergencia y dificulta la evacuación (Román, 2021). Lo anterior ocurre porque una pendiente abrupta, facilita el aumento de la velocidad del viento y la formación de corrientes de convección (Vilchis et al., 2015).

Para la pendiente media que posee cada campamento, se consideró la clasificación que establece la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2009) para estimar las clases de gradiente de pendiente y, tomando la clase escarpado (sobre 8.53°, FAO, 2009), como un nivel que reviste un peligro considerable ante la propagación de un incendio.

3.2.2. Cobertura de usos de suelo

Al igual que en las variables de ignición, la cobertura de usos de suelo resulta relevante también como variable de propagación del fuego. En este caso, la variable se utiliza para establecer una asociación entre las concentraciones de combustible disponible en el área de estudio, en donde los bosques presentan mayores alcances de las llamas y velocidades de propagación debido a la alta densidad que representan (CAF, 2019).

3.2.3. NDVI

Según Álvarez *et al.* (2005) el NDVI se comporta muy bien para estimar el contenido de humedad de pastizales (0,98 según el coeficiente de Pearson), y para matorrales (0,89). También Cocero y Chuvieco (2004) estimaron valores de 0,85 para los pastizales y 0,74 para *Cistus ladanifer* (arbusto similar a vegetación de tipo matorral), con el fin de presentar un método operativo que permita aplicarse a la valoración del peligro y la lucha contra los incendios forestales. Ambas investigaciones sugieren que valores altos de tal índice identifican áreas

vegetacionales que justamente aportan a la ignición y propagación de los incendios forestales.

En el sector del anfiteatro aquellos valores altos con alta vigorosidad se localizan al interior de las quebradas, en áreas de alta pendiente y con baja intervención antrópica; notablemente son sectores con presencia de numerosos campamentos que se han construido en tales formaciones topográficas.

3.3. Construcción de variables y análisis multicriterio (AHP)

3.3.1. Ocurrencia histórica

Cada una de las variables escogidas se reclasificaron en cinco clases para medir la probabilidad de amenaza, en donde el valor 1 representa el menor nivel y 5 y el mayor valor probabilístico, frente a la amenaza de incendios forestales para los campamentos, para luego ponderar las variables entre sí y obtener los resultados cartográficos esperados.

En primer lugar, se realiza una reclasificación para las variables de ocurrencia histórica. Primeramente, a la variable de registros de incendios se aplicó un ráster de distancia, el cual se categorizó con intervalos de valores menores a 50 metros lineales desde los puntos de incendios para establecer zonas con mayor probabilidad de amenaza, hasta valores de distancia mayores a 400 metros, que equivalen a aquellas zonas de menor probabilidad.

Tabla 3. Resumen de variables de ocurrencia histórica

<i>Factor</i>	<i>Criterio de clasificación</i>	<i>Rango</i>	<i>Fuente</i>
Distancia a registros de incendios	> 400 (mts)	1 (Muy Bajo)	5 (Muy Alto) Criterio propio
	200 - 400	2 (Bajo)	
	100 - 200	3 (Medio)	
	50 - 100	4 (Alto)	
	0 - 50	5 (Muy Alto)	
Distancia a área quemada (cicatrices)	> 400 (mts)	1 (Muy Bajo)	Criterio propio
	200 - 400	2 (Bajo)	
	100 - 200	3 (Medio)	
	50 - 100	4 (Alto)	
	0 - 50	5 (Muy Alto)	

Fuente: elaboración propia.

Una consideración importante para la reclasificación de esta variable está relacionada con el desarrollo de los siniestros que se estimaba a menos de 100 metros de distancia de los campamentos de la comuna, entre los focos que

habían sucedido en el periodo 1998 y 2017 (I. Municipalidad de Valparaíso, 2018). Por tal razón establecer un área menor a 100 metros, es plausible considerarlo como un alto nivel de amenaza.

Posteriormente, se aplicó un ráster de distancia para la distancia a área quemada, siguiendo un similar proceso que se hizo para la variable anterior. Estas dos últimas variables se agrupan bajo la categoría de ocurrencia histórica en la Tabla 3.

3.3.2. Ignición

Como en el caso anterior, cada una de las variables de ignición se reclasificaron con los mismos rangos de amenaza. En el primer caso, para la Temperatura se estableció un criterio de rangos menores a 24 °C (con menor probabilidad de amenaza) y mayor a 36 °C (mayor probabilidad) (a partir de la temperatura promedio obtenida).

Con respecto a la exposición de ladera y a partir de lo referido en el apartado de la variable misma, se consideró para la orientación N dos grupos de ángulos, el primero entre los 0 y 10° y el segundo entre los 350 y 360°, los que equivaldrían al mayor nivel de amenaza. Para las orientaciones NE y NO se tomaron valores entre dos grupos, 10 y 80° y 305 y 350°, E y O toma valores entre 80 y 125° y 260 y 305°, SE y SO se continua con dos grupos con valores entre 125 y 175° y 190 y 260°. Finalmente, la orientación S agrupa el rango desde 170 a 190°, correspondiendo al menor nivel de amenaza de la exposición reclasificada.

La variable sobre distancia a carreteras y caminos de huella y sendero establece rangos adaptados del estudio en conjunto del CAF (2019) con leves precisiones. En la reclasificación del ráster de distancia, el nivel con muy alta probabilidad de amenaza corresponde a aquellas zonas con caminos que se encuentran a una distancia menor de 50 metros lineales hacia los campamentos. Los rangos siguientes se van duplicando entre sí hasta alcanzar el nivel de menor probabilidad de amenaza de incendio forestal con distancias mayores a 400 metros desde los caminos tratados hacia tales asentamientos.

Para los usos de suelo, la reclasificación de los usos de suelo señala a los pastizales y matorrales con los mayores niveles, seguido del bosque y el suelo urbano.

En último lugar, para la tipología urbano forestal; se categorizó a cada campamento en cinco clases, desde aquellos asentamientos que presentan una mediana densidad de edificaciones y que se ubican en suelos caracterizados mayoritariamente como pastizal/matorral, para calificarlos con el mayor nivel de amenaza. Mientras que el nivel más bajo reúne a los campamentos que presentan una alta y media densidad de construcciones con suelos predominantemente de tipo desnudo y urbano.

En la Tabla 4, se expone un compendio de las reclasificaciones de cada variable propuesta para esta categoría.

Tabla 4. Resumen de variables de ignición

<i>Factor</i>	<i>Criterio de clasificación</i>	<i>Rango</i>	<i>Fuente</i>
Temperatura	0 - 24 (C°)	1 (Muy Bajo)	Criterio propio
	24 - 28	2 (Bajo)	
	28 - 32	3 (Medio)	
	32 - 36	4 (Alto)	
	> 36	5 (Muy Alto)	
Exposición de ladera	S	1 (Muy Bajo)	Rodríguez et al. (2010).
	SE - SO	2 (Bajo)	
	E - O	3 (Medio)	
	NE - NO	4 (Alto)	
	N	5 (Muy Alto)	
Distancia a carreteras y caminos de huella/sendero	> 400 (mts)	1 (Muy Bajo)	Adaptado de CAF (2019)
	200 - 400	2 (Bajo)	
	100 - 200	3 (Medio)	
	50 - 100	4 (Alto)	
	0 - 50	5 (Muy Alto)	
Cobertura de usos de suelo	Agua - Suelo desnudo	1 (Muy Bajo)	En base a estadísticas de CONAF (2018)
	Urbano	2 (Bajo)	
	Bosque	3 (Medio)	
	Matorral	4 (Alto)	
	Pastizal	5 (Muy Alto)	
Tipología de Interfaz Urbano-Forestal	Med. y alta dens. con desnudo y urbano	1 (Muy Bajo)	Adaptado de CAF (2019)
	Med. dens. con bosque	2 (Bajo)	
	Alta dens. con bosque	3 (Medio)	
	Alta dens. con pastizal y matorral	4 (Alto)	
	Med. dens. con pastizal y matorral	5 (Muy Alto)	

Fuente: elaboración propia.

3.2.3. Propagación

Cada una de las variables de propagación siguió el mismo proceso metodológico de reclasificación que se realizó con las dos categorías anteriores. La primera variable, Pendiente, considera inicialmente 8 clases según la FAO (2009) (Tabla 5), las cuales para el presente estudio se derivan en cinco para homologarse con las otras variables.

Tabla 5. Clasificación de la pendiente según la FAO (2009)

<i>Clase</i>	<i>Descripción</i>	<i>Grados</i>
1 (1)	Plano	0-0.57
2 (1)	Muy ligeramente inclinado	0.57-1.15
3 (1)	Ligeramente inclinado	1.15-2.86
4 (2)	Inclinado	2.86-5.71
5 (3)	Fuertemente inclinado	5.71-8.53
6 (4)	Moderadamente escarpado	8.53-16.7
7 (5)	Escarpado	16.7-30.96
8 (5)	Muy escarpado	> 30.96

Fuente: elaboración propia.

Para el menor nivel de amenaza, los planos de inclinación que varían entre 0 y 2,86° representan el rango de menor nivel de amenaza y comprenden un área de alta densidad poblacional en el área urbana de la comuna. Los valores entre 2,86 y 5,71° corresponden al rango siguiente, luego entre 5,71 y 8,53°, 8,53 y 16,7°, hasta el rango de mayor nivel de amenaza, por sobre el último dígito mencionado recientemente; el cual abarca grandes extensiones de terreno y con variados campamentos asentados.

Para la siguiente, nuevamente se considera a los usos de suelo. Sin embargo, para esta reclasificación, los bosques tienen el nivel más alto de peligro ya que presentan mayores alcances de las llamas y velocidades de propagación debido a su alta densidad, seguido de los matorrales y pastizales.

Para la variable de índice NDVI, aquellos valores entre -1 y 0 se consideraron como vegetación muerta u objeto inanimado (EOS), luego se establecieron rangos entre 0 - 0,25, 0,25 - 0,5, 0,5 - 0,75 y 0,75 - 1 para clasificar vigorosidad de la vegetación.

En la reclasificación del NDVI, aquellos valores altos son considerados los más peligrosos ya que se infiere una mayor carga de combustible para la propagación de un incendio forestal, además se correlaciona con la variable de uso de suelo (perteneciente a la categoría de propagación), específicamente con suelos de tipo bosque los que presentarían también los valores más altos de NDVI.

Para esta última parte, la Tabla 6 resume las últimas variables que competen a la categoría de propagación.

3.3.3. Multicriterio y método AHP

Posterior a la construcción y normalización de variables entre sí, se realiza para cada categoría un álgebra de ráster aplicando un análisis de tipo multicriterio y el proceso de jerarquía analítica (AHP por sus siglas en inglés), método propuesto por Saaty (1980) que mide a través de comparaciones por pares y se basa en juicios que derivan en escalas de prioridad (Saaty, 1987), según la teoría de la utilidad multiatributo (Bernal y Niño, 2018, citado por Elgueta Gutiérrez, 2022).

Tabla 6. Resumen de variables de propagación

<i>Factor</i>	<i>Criterio de clasificación</i>	<i>Rango</i>	<i>Fuente</i>
Pendiente	0 - 2.86 (°)	1 (Muy Bajo)	FAO
	2.86 - 5.71	2 (Bajo)	
	5.71 - 8.53	3 (Medio)	
	8.53 - 16.7	4 (Alto)	
	> 16.7	5 (Muy Alto)	
Cobertura de usos de suelo	Agua - Suelo Desnudo	1 (Muy Bajo)	Con base a estadísticas de CONAF (2018)
	Urbano	2 (Bajo)	
	Pastizal	3 (Medio)	
	Matorral	4 (Alto)	
	Bosque	5 (Muy Alto)	
NDVI	-1 - 0	1 (Muy Bajo)	Criterio propio
	0 - 0.25	2 (Bajo)	
	0.25 - 0.5	3 (Medio)	
	0.5 - 0.75	4 (Alto)	
	0.75 - 1	5 (Muy Alto)	

Fuente: elaboración propia.

El peso final de cada variable en la ponderación de las categorías de amenaza es determinado a partir de una normalización de los datos que establece la propia matriz y que se ve reflejado en la obtención de mapas de probabilidad de amenaza de incendios forestales alrededor de los campamentos.

Siguiendo lo anterior, la primera categoría de variables (ocurrencia histórica), en la ponderación entre sí para obtener el mapa de la categoría en cuestión, se enjuicia con una prioridad levemente mayor a la distancia de los registros de incendios por sobre a la distancia de áreas quemadas o cicatrices de fuego (Tabla 7). Se toma en cuenta que los registros de incendios son los que representan la amenaza misma por sobre (levemente) la superficie que se ha consumido por el fuego propiamente tal.

Para la segunda categoría que contiene a las variables de ignición, la mayor relevancia se le asigna a la Tipología de interfaz urbano forestal y a la variable de Usos de suelo, seguidamente de la Distancia a caminos (carreteras, caminos de huella y senderos) y por último las variables de Exposición y Temperatura, con la misma importancia para estas dos últimas (Tabla 8). La principal razón del discernimiento se basa en los Estudios del Índice De Vulnerabilidad y Riesgo de Territorio del Área Metropolitana de Valparaíso al Cambio Climático e Identificación de las Respectivas Medidas de Adaptación del CAF - Banco de Desarrollo de América Latina (2019), al cual se le realiza un ajuste de ponderaciones iguales para las dos primeras variables mencionadas debido a la relevancia del tipo de suelo en el que se encuentre el campamento.

Tabla 7. Matriz de Saaty (1980) para la ponderación de variables y construcción del mapa de amenaza de incendio forestal por ocurrencia histórica

<i>Variables</i>	<i>Distancia a incendios</i>	<i>Distancia. a área quemada</i>
Distancia a incendios	1	2
Distancia a área quemada	0,5	1
Total	1,5	3
<i>Normalización de datos</i>		
<i>Variables</i>	<i>Distancia a incendios</i>	<i>Distancia a área quemada</i>
Distancia a incendios	0,666666667	0,666666667
Distancia a área quemada	0,333333333	0,333333333
Ponderación	0,666666667	0,333333333

Fuente: elaboración propia.

Tabla 8. Matriz de Saaty (1980) para la ponderación de variables y construcción del mapa de amenaza de incendio forestal por ignición

<i>Variables</i>	<i>T. interfaz</i>	<i>Uso de suelo</i>	<i>Dist. caminos</i>	<i>Exposición</i>	<i>Temperatura</i>
T. interfaz	1	1	3	5	5
Uso de suelo	1	1	3	5	5
Dist. caminos	0,333333333	0,333333333	1	3	3
Exposición	0,2	0,2	0,333333333	1	1
Temperatura	0,2	0,2	0,333333333	1	1
<i>Normalización de datos</i>					
<i>Variables</i>	<i>T. interfaz</i>	<i>Uso de suelo</i>	<i>Dist. caminos</i>	<i>Exposición</i>	<i>Temperatura</i>
T. interfaz	0,36585366	0,36585366	0,39130435	0,333333333	0,333333333
Uso de suelo	0,36585366	0,36585366	0,39130435	0,333333333	0,333333333
Dist. caminos	0,12195122	0,12195122	0,13043478	0,2	0,2
Exposición	0,07317073	0,07317073	0,04347826	0,066666667	0,066666667
Temperatura	0,07317073	0,07317073	0,04347826	0,066666667	0,066666667
Ponderación	0,35793567	0,35793567	0,15486744	0,06463061	0,06463061

Fuente: elaboración propia.

Con respecto a la última categoría (propagación) los juicios de prioridad para establecer los pesos de las variables toman también como base el estudio mencionado anteriormente. La Tabla 9 expone a las variables de Pendiente y Uso de suelo como las de mayor peso por sobre la variable NDVI debido a que esta última fue seleccionada como un factor que no es mayoritariamente considerado en investigaciones precedentes.

Tabla 9. Matriz de Saaty (1980) para la ponderación de variables y construcción del mapa de amenaza de incendio forestal por propagación

<i>Variables</i>	<i>Pendiente</i>	<i>Uso de suelo</i>	<i>NDVI</i>
Pendiente	1	1	3
Uso de suelo	1	1	3
NDVI	0,33333333	0,33333333	1
<i>Normalización de datos</i>			
<i>Variables</i>	<i>Pendiente</i>	<i>Uso de suelo</i>	<i>NDVI</i>
Pendiente	0,42857143	0,42857143	0,42857143
Uso de suelo	0,42857143	0,42857143	0,42857143
NDVI	0,14285714	0,14285714	0,14285714
Ponderación	0,42857143	0,42857143	0,14285714

Fuente: elaboración propia.

En última instancia, se realiza un nuevo álgebra de ráster a partir de los resultados anteriores, es decir, esta vez la matriz es construida con el cruce de cada categoría de amenaza, nuevamente a través del método AHP, pero esta vez, con ponderaciones iguales entre las categorías tratadas (Tabla 10) para la obtención de un mapa final de que expone niveles de amenaza por incendio forestal en torno a los campamentos del anfiteatro de Valparaíso.

Tabla 10. Matriz de Saaty (1980) para la ponderación de variables y construcción del mapa final de amenaza de incendio forestal

<i>Categoría de variables</i>	<i>Ignición</i>	<i>Propagación</i>	<i>Ocurrencia</i>
Ignición	1	1	1
Propagación	1	1	1
Ocurrencia	1	1	1
<i>Normalización de datos</i>			
<i>Categoría de variables</i>	<i>Ignición</i>	<i>Propagación</i>	<i>Ocurrencia</i>
Ignición	0,33333333	0,33333333	0,33333333
Propagación	0,33333333	0,33333333	0,33333333
Ocurrencia	0,33333333	0,33333333	0,33333333
Ponderación	0,33333333	0,33333333	0,33333333

Fuente: elaboración propia.

4. Resultados

A partir de la metodología planteada se obtienen cuatro mapas que exponen el nivel de amenaza por incendio forestal en torno a los campamentos del anfiteatro de la comuna. El primero de aquellos dicta relación con la amenaza

que surge por la ponderación de las variables de Ocurrencia histórica. En la Figura 2 se visualizan niveles más altos de amenaza en aquellos campamentos ubicados hacia la periferia del área urbana. Los niveles de amenaza decrecen a medida que los asentamientos se establecen más hacia el interior del tejido urbano, lo que responde a la lógica de la ubicación de registros de incendios para el periodo estudiado (1998-2018). No obstante, algunos grupos de tales asentamientos que cuentan con un nivel de amenaza medio y que se ubican hacia el Este, cercano al límite comunal con Viña del Mar, se asientan en un área que presenta características aún del periurbano con quebradas que proliferan de vegetación, en la cual la trama urbana ha encerrado durante los últimos años producto de la expansión inmobiliaria.

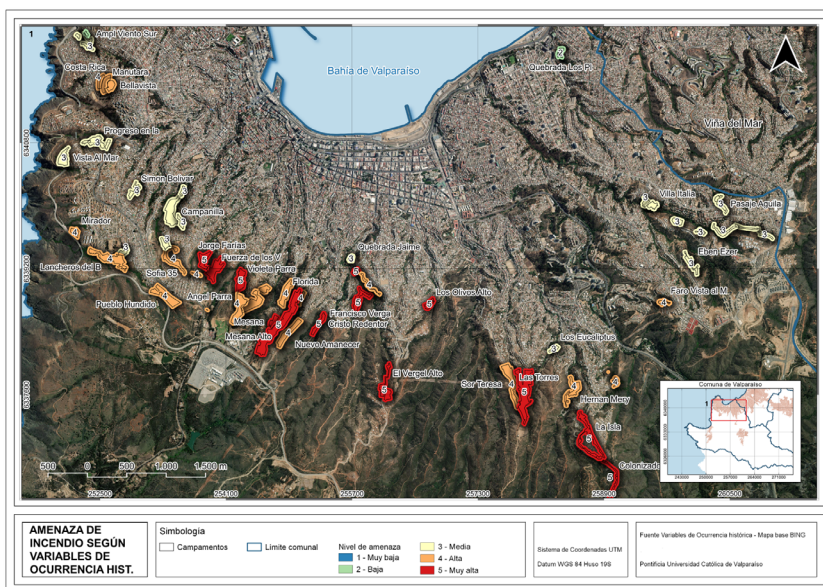


Figura 2. Clasificación de la amenaza de incendio forestal alrededor de los campamentos, según variables de ocurrencia histórica.

Fuente: elaboración propia.

El segundo resultado compete a los niveles de amenaza que se obtienen para los campamentos según las variables de Ignición (Figura 3). En este caso las diferencias que surgen con respecto al primer caso es que la ubicación periférica de los campamentos no es un factor tan preponderante de la clasificación de la amenaza. A pesar de que el campamento con mayor probabilidad de incendio forestal se encuentra localizado en un sector periurbano, existe una mayor heterogeneidad en los resultados de niveles de amenaza; lo que responde principalmente al tipo de suelo y a la categoría de interfaz específica de los asentamientos estudiados y en la cual un gran número de campamentos y grupos cercanos de estos entre sí presentan niveles altos de amenaza. Esta

situación ocurre porque la ubicación precisa de la mayoría de los campamentos corresponde a suelos de tipo pastizal y matorral y con altas densidad de construcción con edificaciones cercanas entre sí.

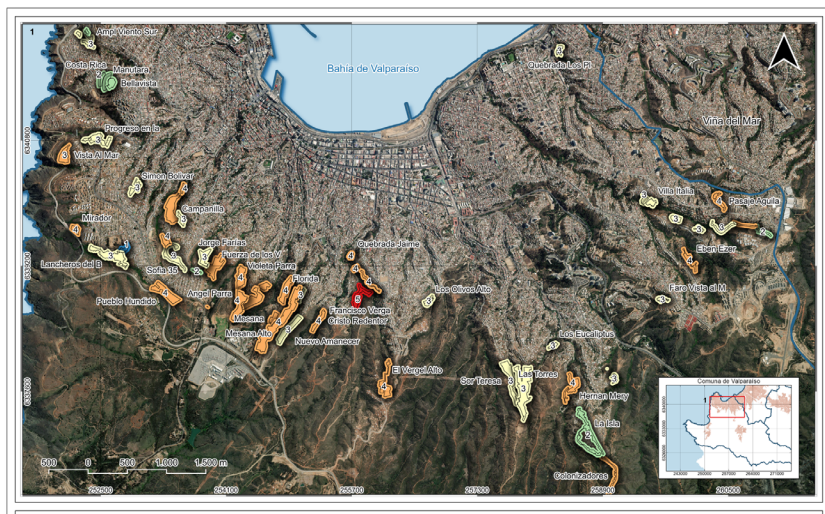


Figura 3. Clasificación de la amenaza de incendio forestal alrededor de los campamentos, según variables de ignición.

Fuente: elaboración propia.

El tercer resultado atañe a la propagación de los incendios forestales. Para este caso aquellas variables como la pendiente del terreno y los usos de suelo, son considerados factores preponderantes en la obtención de los resultados de esta categoría (Figura 4). A partir de aquello, el nivel de mayor amenaza corresponde a un único campamento (“Continuación Pasaje Turín”) localizado en el Este del anfiteatro, mientras que los campamentos que poseen un alto nivel de amenaza también resultan escasos (sólo 2 asentamientos), ubicados al centro en la periferia y hacia el Este. Por otro lado existe una cifra considerable de estos grupos o asentamientos por si solos que cuentan con una probabilidad media y baja de que ocurra un incendio forestal; tales campamentos proliferan en las periferias del tejido urbano, en los cuales la pendiente del terreno en que se encuentran no es en exceso escarpada, mientras que los suelos predominantes competen principalmente a pastizales, los cuales son tipos de suelos que presentan características de una no muy alta propagación del fuego como lo es un suelo con vegetación más densa y cercana entre sí, pero tampoco de una alta propagación de tal elemento en el terreno.

El último resultado refiere al más importante, ya que se reúnen las tres categorías de amenazas para la obtención de un mapa final sobre la amenaza alrededor de los campamentos del anfiteatro. En la Figura 5 se visualiza una mixtura de niveles para la clasificación de los niveles de amenaza en la que tiende a predominar como Alta y Muy alta en grupos de campamentos situados

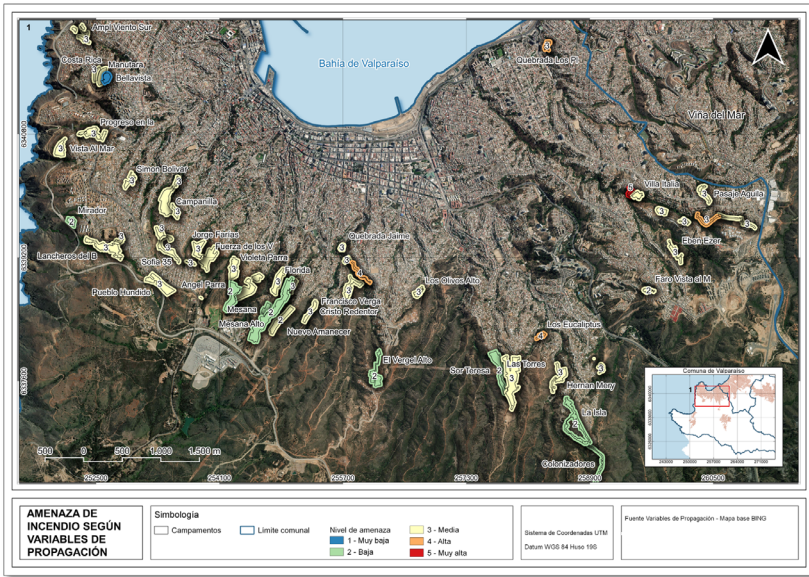


Figura 4. Clasificación de la amenaza de incendio forestal alrededor de los campamentos, según variables de propagación.
Fuente: elaboración propia.

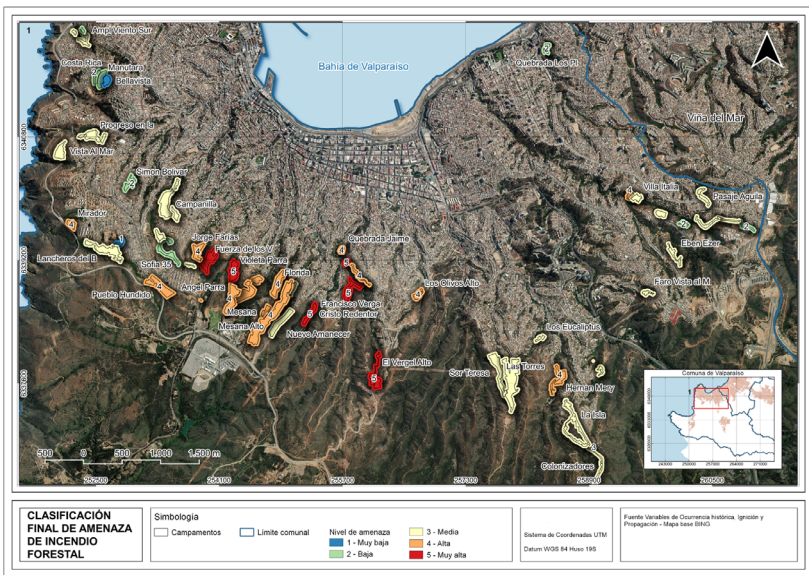


Figura 5. Clasificación final de la amenaza de incendio forestal alrededor de los campamentos del anfiteatro de Valparaíso.
Fuente: elaboración propia.

en la periferia hacia el centro-oeste de la cartografía. Gran parte de los campamentos analizados quedan catalogados con tales niveles de probabilidad de que ocurra un incendio forestal junto con aquellos que poseen un nivel medio. En contraparte la situación de los campamentos con niveles Bajos y Muy bajos corresponden a una pequeña cantidad del total analizado.

Respecto a la cantidad de población expuesta y que reside en los campamentos analizados, la cifra alcanza a 272 familias con los mayores niveles de amenaza. Lo que denota un número considerable de personas en la que constantemente se hallan con el riesgo de que el fuego alcance a las viviendas, especialmente en periodos secos, que es cuando la temporada de incendios forestales es más proclive.

5. Conclusiones

Como se observa en los resultados, la metodología aplicada permitió que fuera posible evaluar e identificar a los campamentos según su nivel de amenaza de forma individual. Siendo aquel un punto clave del presente estudio ya que tal valor radica en identificar de forma independiente a los campamentos según su nivel de amenaza y no solo señalar si los campamentos están ubicados o no, en una zona de peligro.

Esto permitiría a organismos públicos concentrar recursos de forma más eficiente a la hora de combatir el problema en el que se encuentran los campamentos, otorgando prioridad a campamentos que tengan un mayor nivel de amenaza, teniendo la capacidad de desarrollar mejores políticas públicas cuyo objetivo sea ayudar a combatir y/o prevenir la amenaza de incendio forestal hacia tales asentamientos.

Si bien en este trabajo se decidió utilizar a la comuna de Valparaíso como área de estudio, eso no significa que esta metodología no pueda ser aplicada a otras unidades territoriales, solo cambiarían algunos valores en los indicadores utilizados dependiendo del área de estudio en la que se esté trabajando.

Sin embargo, hay que destacar que en este estudio solo se trabajó en la temática de incendios forestales y, además, fue realizado con un enfoque en la amenaza ante estos incendios. Por lo que es factible decir que este estudio se puede mejorar y desarrollar de manera más robusta, si es que se considera necesario.

Primero que todo, es posible agregar aún más variables que en este trabajo no hayan sido utilizadas. Un ejemplo de otras variables a utilizar puede ser los microbasurales que pueden integrarse en las variables de propagación o ignición de incendios forestales.

También se sugiere que se realicen otros estudios relacionados, pero cuyo enfoque sea el de identificar a los campamentos según su nivel de riesgo y vulnerabilidad. Claro está que para realizar este tipo de estudios deben considerarse otros indicadores y factores como la calidad y los materiales de las viviendas en los campamentos, entre otros.

En cuanto al tipo de análisis multicriterio, resulta importante considerar que al sumar o restar otras variables y ponderarlas con diferentes pesos, se

pueden obtener resultados diferentes, por lo que se hace necesario establecer bases robustas del porqué se eligen tales variables y el porqué del peso que se asignan a estas mismas (Elgueta Gutiérrez, 2022). En ese caso, tales resultados disimiles que se obtendrían, detenta una gran responsabilidad al momento de ejecutar políticas públicas a partir de la información que se obtiene con relación a la situación de los campamentos.

Finalmente, en cuanto a la evaluación de los resultados específicos que se obtuvieron y al respecto de si existe o no un patrón espacial que obedezca a los niveles de clasificación resultantes, lo que se infiere a partir de las cartografías, es que existen grupos de campamentos cercanos entre sí con similares niveles como ocurre con aquellos asentamientos situados en la periferia hacia el centro-oeste, estableciéndose una probabilidad Alta y Muy alta de que ocurra un incendio forestal para la categoría de variables de Ocurrencia histórica, Alta para la categoría de variables de Ignición, Media y Baja para las variables de Propagación y Muy alta y Alta para el mapa final de amenaza.

Bibliografía

- Alegría Tardón, R. (2020). Estudio y evaluación del riesgo de incendios forestales en la interfaz urbano-forestal de las comunas que componen el Área Metropolitana de Valparaíso: periodo 2000-2017. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/178619>
- Yebra Alvarez, M., Santis, A. de, & Chuvieco, E. (2018). Estimación del peligro de incendios a partir de teledetección y variables meteorológicas: variación temporal del contenido de humedad del combustible. *Recursos Rurais*, (1), 9-19. <https://doi.org/10.15304/rr.id5336>
- Homer Aschmann (1984) A Restrictive Definition of Mediterranean Climates, Bulletin de la Société Botanique de France. *Actualités Botaniques*, 131 (2-4), 21-30. <https://doi.org/10.1080/01811789.1984.10826643>
- Atienza, J., Muñoz, P., & Balladares, P. (2012). Determinación de prioridades de protección contra incendios forestales en la región de Valparaíso, Chile. *Revista Cartográfica*, 88, 147. https://www.researchgate.net/profile/Pedro-Munoz-7/publication/327557748_Determinacion_de_Prioridades_de_Proteccion_Contra_Incendios_Forestales_en_la_Region_de_Valparaiso_Chile/links/5b9667d5a6fdccfd543a0e84/Determinacion-de-Prioridades-de-Proteccion-Contra-Incendios-Forestales-en-la-Region-de-Valparaiso-Chile.pdf#page=149
- Barsi, J. A., Schott, J. R., Palluconi, F. D., & Hook, S. J. (2005, August). Validation of a web-based atmospheric correction tool for single thermal band instruments. *Earth observing systems X* (5882), 136-142. <https://doi.org/10.1117/12.619990>
- Barsi, J. A., Barker, J. L., & Schott, J. R. (2003, July). An atmospheric correction parameter calculator for a single thermal band earth-sensing instrument. In IGARSS 2003. *2003 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Proceedings IEEE* Cat. No. 03CH37477, 5, 3014-3016. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2003.1294665>
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45, 5-32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- CAF - Banco del Desarrollo de América Latina (2019). Programa de resiliencia climática para el área Metropolitana de Valparaíso. *Estudios del índice de vulnerabilidad*

- y riesgo de territorio del área metropolitana de Valparaíso al cambio climático e identificación de las respectivas medidas de adaptación. Informe compilado productos 1-6. <https://drive.google.com/file/d/1TkmtlDqCMIIDMUS-sHinx-yqy-cZwsx/view>
- Chaves, A. M. S. (2021). *Dinâmica geoecológica e cenários potenciais para conservação da paisagem semiárida na bacia do riacho São José em Pernambuco*. <http://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/14373>
- Cocero, D., & Chuvieco, E. (2004). Combinación de NDVI y temperatura de superficie para la estimación del contenido de humedad de los combustibles en la valoración del peligro de incendios forestales. *Revista de Teledetección*, 21, 41-45. <http://www.aet.org.es/revistas/revista21/AET21-08.pdf>
- CONAF (Corporación Nacional Forestal) (2022). *Estadísticas históricas*. <https://www.conaf.cl/incendios-forestales/incendios-forestales-en-chile/estadisticas-historicas/>
- Vargas Rojas, R. (2009). *Guía para la descripción de suelos*. FAO. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat02127a&AN=fao.838360&site=eds-live>
- Farfán Gutiérrez, M., Flamenco Sandoval, A., Rodríguez Padilla, C. R., Rodrigues de Sousa Santos, L., González Gutiérrez, aproximación antrópica de sus fuentes de ignición. I., & Gao, Y. (2020). *Cartografía de la probabilidad de ocurrencia a incendios forestales para el estado de Guanajuato: Una Acta Universitaria* 30, e2953. <http://doi.org/10.15174.au.2020.2953>
- González, M.E., Sapiains, R., Gómez-González, S., Garreaud, R., Miranda, A., Galleguillos, M., Jacques, M., Pauchard, A., Hoyos, J., Cordero, L., Vásquez, F., Lara, A., Aldunce, P., Delgado, V., Arriagada, Ugarte, A.M., Sepúlveda, A., Farías, L., García, R., Rondanelli, R., J., Ponce, R., Vargas, F., Rojas, M., Boisier, J.P., C., Carrasco, Little, C., Osses, M., Zamorano, C., Díaz-Hormazábal, I., Ceballos, A., Guerra, E., Moncada, M., Castillo, I. (2020). *Incendios forestales en Chile: causas, impactos y resiliencia*. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2, (ANID/FONDAP/15110009), 84 pp. <https://www.cr2.cl/incendios/>
- Gutiérrez, V. E. (2022). Segregación y vulnerabilidad residencial en la conurbación interior del área metropolitana de Valparaíso-Chile. Una aproximación a partir del análisis multicriterio. *Revista Geográfica de Valparaíso*, (59). <https://doi.org/10.5027/rgv.v0i59.a91>
- Piñones Aguilera, G. (2018). *Plan Maestro para la Gestión del Riesgo de Incendios Forestales Urbanos Valparaíso (Memoria Técnica)*. http://munivalpo.cl/repositorio/archivos/2019/PM/Memoria_PLAN_MAESTRO_INCENDIO_2018.pdf
- Julio, G, Pedernera, P. & Castillo, E. (1995). Diseño funcional de simulador de incendios forestales. *Actas de Taller Internacional sobre Prognosis y Gestión en Control de Incendios Forestales*, 218-226.
- Kapstein, G. (2009). Ciudad anfiteatro. *ARQ (Santiago)*, (73), 23-27. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-69962009000300004>
- Landsat 8 | U.S. Geological Survey. (s.f.). USGS.gov | Science for a changing world. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>
- Luebert, F., & Plissock, P. (2012). Variabilidad climática y bioclimas de la Región de Valparaíso, Chile. *Investigaciones geográficas*, (44), 41. <https://doi.org/10.5354/0719-5370.2012.26408>
- MINVU (Ministerio de Vivienda y Urbanismo) (2019). *Catastro Nacional de campamentos*. <https://www.minvu.gob.cl/wp-content/uploads/2019/12/Caracterizaci%C3%B3n-de-la-Situaci%C3%B3n-Habitacional.pdf>
- MINVU (Ministerio de Vivienda y Urbanismo) (2021). *Campamentos en zonas de peligro: Centro de Estudios de Ciudad y Territorio*. <http://biblioteca.digital.gob.cl/handle/123456789/3677>

- MINVU (Ministerio de Vivienda y Urbanismo) (2013). *Mapa social de Campamentos*. Santiago, Chile. https://bibliotecadigital.uchile.cl/discovery/fulldisplay?docid=alma991000821659703936&context=L&vid=56UDC_INST:56UDC_INST&lang=es&adaptor=Local%20Search%20Engine&tab=Everything&query=any,contains,planet%20of%20slums&offset=0
- MINVU (Ministerio de Vivienda y Urbanismo) (2020). *Informe de campamentos en áreas de riesgo según el Instrumento de Planificación Territorial*. <https://www.minvu.gob.cl/wp-content/uploads/2020/12/Informe-Campamentos-Expuestos-a-Riesgo-segun-IPT.pdf>
- Mouna, D., Barda, M., & Castellnou, M. (1998). *Probabilidad de Ignición, grandes incendios y dificultad de extinción*. https://www.miteco.gob.es/en/parques-nacionales-oapn/publicaciones/ecologia_12_21_tcm38-100624.pdf
- Pica-Téllez, A., Garreaud, R., Meza, F., Bustos, S., Falvey, M., Ibarra, M., ... & Silva, I. (2020). *Informe Proyecto ARclim: Atlas de Riesgos Climáticos para Chile*. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, Centro de Cambio Global UC and Meteodata for the Ministerio del Medio Ambiente via La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ): Santiago, Chile.
- Román Morales, Randy (2021). Asentamientos informales y su influencia en el riesgo de incendios forestales: Caso de Viña del Mar. Trabajo fin de máster. Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile. <https://estudiosurbanos.uc.cl/wp-content/uploads/2022/05/TESIS-RRM.pdf>
- Saaty, Thomas L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process McGraw Hill*, (70). New York. Agricultural Economics Review.
- Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process-what it is and how it is used. *Mathematical modelling*, 9 (3-5), 161-176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- Salinero, E. C. (2009). Detección y análisis de incendios forestales desde satélites de teledetección. *Rev. Real Acad. Cienc. Exactas Físicas Nat*, 103, 173-182. <https://rac.es/ficheros/doc/00917.pdf>
- Sarricolea Espinoza, P. y Romero Aravena, H. (2010). *Análisis de los factores condicionantes sobre las temperaturas de emisión superficial en el área metropolitana de Valparaíso*. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/117841>
- Spatial - Resolutions - Sentinel-2 MSI - User Guides - Sentinel Online - Sentinel Online. (s.f.). Sentinel Online - ESA - Sentinel Online. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/spatial>
- Techo-Chile (2022). *Catastro Nacional de Campamentos*. Santiago.
- Valdivia Valenzuela, P. (2020). El silencio del espacio urbano: Valparaíso: las formas de la trama urbana. *QRU: Quaderns de Recerca en Urbanisme*, (10), 14-45. <https://doi.org/10.5821/qru.10388>
- Vidal de Prados, Adrián (2017). Análisis de la incidencia de las variaciones climáticas en el régimen de incendios forestales de la comuna de Valparaíso (Chile) entre 1986 y 2014. Proyecto Fin de Carrera / Trabajo fin de grado, E.T.S.I. Montes, Forestal y del Medio Natural (UPM), Madrid, España. https://oa.upm.es/56967/1/PFC_Adrian_Vidal_de_Prados.pdf
- Vilchis-Francés, Aleida Y., Díaz-Delgado, Carlos, Magaña-Lona, Dolores, Bâ, Khalidou M., & Gómez-Albores, Miguel Á. (2015). Modelado espacial para peligro de incendios forestales con predicción diaria en la cuenca del río Balsas. *Agrociencia*, 49 (7), 803-820. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952015000700008&lng=es&tlng=es

Patrones espacio-temporales asociados a características del sedimento respecto a la disponibilidad de áreas de anidación para tres especies de tortugas el Amazonas colombo-peruano

Spatio-temporal patterns associated with the sediment characteristics regarding the availability of nesting areas for three species of turtles in the Colombian-Peruvian Amazon

Valentina Franco-Arciniegas¹

Javier Díaz-Perdomo²

Recibido 09 de enero de 2023; aceptado 30 de junio de 2023

RESUMEN

El análisis de patrones espaciales, temporales y ambientales en las áreas de anidación de las tortugas es indispensable para entender los factores asociados a su supervivencia, así como para lograr un óptimo desarrollo en las labores de conservación. El objetivo fue identificar patrones de influencia espacial asociados a características de sedimentos respecto a la disponibilidad de áreas de anidación para tres especies de tortugas, en un marco multitemporal. La metodología comprende dos fases. La primera fase de campo realizada durante junio y agosto de 2019 se hizo parte de las actividades de conservación que desarrollan cinco comunidades indígenas, fueron visitadas seis playas y se tomaron muestras del suelo (por especie) de los lugares donde las hembras anidaban. La segunda fase de oficina, se llevó a cabo un análisis de laboratorio de las características físicas y químicas de las muestras de suelo. Por otro lado, se realizó una clasificación supervisada a partir de imágenes satelitales Landsat

¹ Facultad de Ciencias Ambientales y de la Sostenibilidad, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA), Colombia, correo electrónico: vale_franco25@hotmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6571-7892>

² Investigaciones Geográficas para el Desarrollo Territorial (INGEDET), Facultad de Ciencias Ambientales y de la Sostenibilidad, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA), Colombia, correo electrónico: javierdiaz@fundacionbiodiversa.org. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2454-047X>

5, 7 y 8 correspondientes al mes de septiembre para cada año de actividad del programa de conservación. Fueron analizadas en total 14 muestras de suelo. Estas evidenciaron las condiciones idóneas y/o de preferencia por las tortugas para desarrollar los procesos de oviposición referente a textura, color, densidad, pH, materia orgánica, presencia de alófanos (material volcánico) y carbonatos. En paralelo, se obtuvo un total de 12 clasificaciones supervisadas en las que se evidenció variabilidad asociada con la disponibilidad de las seis playas en términos de tamaño, forma y ubicación, así como la aparición de dos nuevas extensiones y el cambio en la morfología del río. En conclusión, en la ecología reproductiva de las tortugas de río intervienen diversos factores geoespaciales y multitemporales que se relacionan con las condiciones del ecosistema acuático, así como con la disponibilidad y características propias de las playas de anidación.

Palabras clave: *Amazonas, Podocnemis, anidación, suelo, multitemporal, tortuga de río.*

ABSTRACT

The analysis of spatial, temporal, and environmental patterns of the availability of turtle nesting areas is essential for the understanding of the factors associated with their survival, as and for an optimal development of conservation activities. The objective was to identify patterns of spatial influence associated with sediment characteristics regarding the availability of nesting areas for three species of turtles, in a multitemporal framework. The methodology comprises two phases. The first field phase was carried out during July and August of 2019, we participated in conservation activities being carried out by five indigenous communities, we visited six beaches and took soil samples from places where the females of each species nested. In the second office phase, an analysis was carried out on a laboratory analysis of the physical and chemical characteristics of the soil samples was carried out. A supervised classification of beaches was done from satellite images Landsat 5, 7 and 8, from September of each year of activity of the conservation program. A total of 14 soil samples were analyzed. They showed the ideal conditions and/or preference of turtles for oviposition processes. Such conditions included texture, color, density, pH, organic matter, presence of allophones (volcanic material) and carbonates. A total of 12 supervised beach classifications were obtained. The availability of the six beaches had remarkable variability in terms of size, shape, and location. Two new beach extensions and changes in river morphology were observed. In conclusion, in various geospatial and multi-temporal factors influence the reproductive ecology of river turtles. These are related to the conditions of the aquatic ecosystem, and the availability and characteristics of nesting sites.

Key words: *Amazon, Podocnemis, nesting, soil, multitemporal, river turtle.*

1. Introducción

Durante la formación del río Amazonas, hace 10.5 millones de años, se originaron una serie de hábitats terrestres y acuáticos que favorecieron la generación de una alta diversidad de especies (Figueiredo, Hoorn, van der Ven & Soares, 2010). Desde el punto de vista de su cuenca, se considera como una de las biorregiones más importantes del mundo, su área de drenaje alberga diversos ecosistemas

que, además de sustentar una gran riqueza biótica, facilitaron la adaptación de varias culturas (Pineda, 2013).

Dentro de las especies acuáticas y subacuáticas que cohabitan la Amazonía, en este escrito se enfatizó en el estudio de la familia Podocnemididae, representada en la región por tres especies: *Podocnemis expansa*, *P. unifilis* y *P. sexcubertulata*, distribuidas al interior de la frontera colombo-peruana y consideradas altamente amenazadas (Pezzuti, Lima, da Silva, & Begossino, 2010). Algunos factores que inciden en esta consideración son: la degradación del hábitat, la caza excesiva y la presencia de actividades humanas en las zonas de anidación, generando la compactación del sustrato (Ceballos-Fonseca, 2004) y por lo tanto, una alteración en el desarrollo de los nidos.

Desde el año 2008, la Asociación Familiar Curuinsi Huasi (“Casa de la hormiga” en lengua Cocama), ubicada en la Amazonía colombiana, junto con la Fundación Biodiversa Colombia, iniciaron un programa de conservación con el objetivo de proteger y establecer puntos de control en algunas playas (Arbeláez, Gutiérrez, Cadavid, Premauer & Vargas-Ramírez, 2009). Estas son áreas de gran importancia ya que allí ocurre la selección de lugares por parte de las hembras de tortugas para la anidación y posterior oviposición de los huevos (Márquez, 2000). En la actualidad, son cinco comunidades partícipes del programa: Santa Sofía, Nuevo Jardín y El Progreso (Colombia), Yahuma I y El Barranco (Perú) (Fundación Biodiversa Colombia, 2015).

La dinámica relacionada con la preferencia y disponibilidad de playas depende de varios aspectos: su extensión, ubicación, la estructura de la vegetación, las características del río, la disponibilidad de luz y el alimento entre otros factores (Rosenzweig, 1981; González-Zárate, Montenegro, & Castaño-Mora, 2011). Las playas tienen la particularidad de ser inestables, cambian su configuración, perfil y base con el paso del tiempo. Esas variaciones se dan por causa de la influencia del “pulso de inundación” y “la dinámica pluvial del río Amazonas que influye directamente en las condiciones de formación, estabilidad y desaparición de las barras de arena” (Junk & Wantzen, 2004; Camacho & Quiñonez, 2020), asimismo contribuyen el tipo de oleaje, el viento, las características de los sedimentos y demás (Medina, Losada, Losada, & Vidal, 1995). Por ejemplo, en sedimentos de tipo arenoso muy compactados, así como en suelos granulométricos muy gruesos y/o finos, la diversidad de especies disminuye y se presentan cambios en la compactación afectando el anidamiento (May, MacDonald, Méndez, & Muñóz, 2018).

Por lo tanto, el estudio de las playas de anidación y sus características granulométricas es fundamental ya que es allí donde el ciclo reproductivo se desarrolla (Hernández, 2020). Evaluar dichos factores, así como los cambios que puedan presentar, es necesario para establecer su impacto en la diversidad de las especies de tortugas y la distribución de sus poblaciones en una escala espacio-temporal (González-Zárate, Montenegro, & Castaño-Mora, 2011). El objetivo de este estudio fue identificar los patrones de influencia en la disponibilidad de áreas de anidación para tres especies de tortugas en el río Amazonas, teniendo en cuenta los tipos de sedimentos presentes en tales zonas.

2. Área de estudio

El programa de conservación se desarrolla en un tramo del río Amazonas en el que la frontera entre los países de Colombia y Perú se diluye. Las comunidades colombianas hacen parte del Resguardo Indígena de Santa Sofía ubicado en la subregión de la Amazonía suroriental (SIAT-AC, 2015) y las comunidades peruanas están ubicadas en la Provincia Mariscal Ramón Castilla en el departamento de Loreto. Como punto de referencia se tiene la isla de Corea a 30 km de la ciudad de Leticia y a 30 km del Parque Nacional Amacayacu. En total son seis playas de conservación aledañas a la isla. Estas son conocidas como Playa Alta (3° 59' 45" S & 70° 10' 07" W), Playa Media (4° 01' 43.32" S & 70° 07' 22" W), Playa Baja (4° 03' 11" S & 70° 06' 36" W), Playa Tori (4° 02' 34" S & 70° 07' 11.01" W), Playa Corea (4° 0' 26.44" S & 70° 9' 42.63" W) y Playa Arara (4° 04' 14" S & 70° 04' 10.93" W) (R. Conde y N. Carihuasari,¹ comunicación personal, 20 de junio de 2019) (Figura 1).

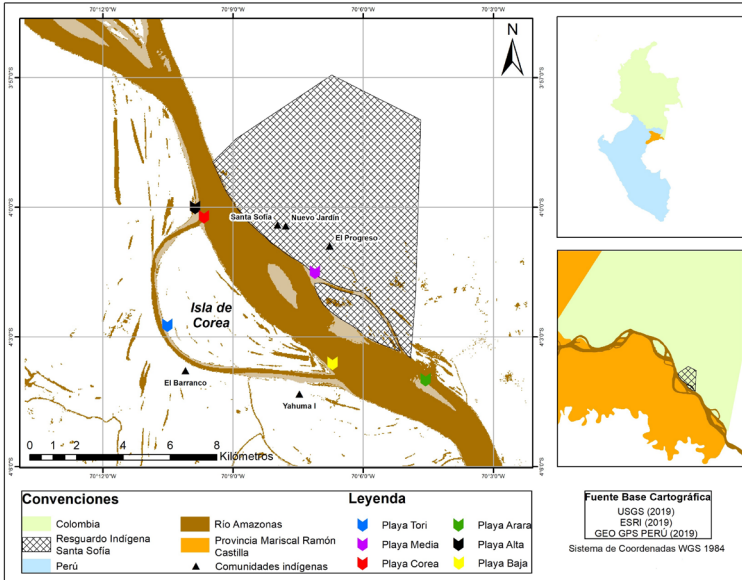


Figura 1. Mapa de ubicación: Frontera en la Amazonía colombo-peruana.

Fuente: elaboración propia.

3. Materiales y métodos

3.1 Fase de campo

En junio y agosto de 2019, se hicieron recorridos en bote durante la noche para visitar cada una de las playas. De acuerdo con los hábitos de cada una de

¹ Coordinadores Grupos Locales de Conservación (Guardianes de las tortugas), desde 2008, Curuinsi Huasi.

las especies de tortuga, las rondas se realizan en diferentes horarios siempre utilizando una linterna de luz roja para no perturbar a los organismos. En el caso de *P. expansa* únicamente se hacen seguimientos entre las 12 am y las 2 am, mientras que para *P. unifilis* y *P. sexcubertulata* el rastreo se ejecuta durante toda la noche. Esta técnica se basa en la experiencia y conocimiento de las especies por parte de las comunidades locales. Cuando una hembra era encontrada depositando sus huevos, se esperaba a que terminara el proceso para posteriormente tomar 1kg de suelo. Esto con la finalidad de tener una muestra del sustrato por especie en cada una de las playas, es decir, un total de 18 muestras. No obstante, no fue posible obtener 4 muestras para *P. expansa* pues la especie no anidó en: Playa Alta, Baja, Tori y Corea durante esta fase.

3.2 Fase de oficina

3.2.1 Análisis de laboratorio

Para las muestras que se recolectaron en las playas se realizaron análisis relacionados con la determinación de ciertas características físicas: Textura, por medio del método del tacto que consiste en humedecer un puñado de suelo, amasarlo y hacer plastas observando la forma que adquiere (USDA & NRCS, 2000). Color, a través de la tabla de colores de Munsell (Andrades, Molenir, & Masaguer, 2015). Densidad real, obteniendo el volumen del suelo por medio de un picnómetro (OILM, 2011). En cuanto a las características químicas, se analizó el pH a través del potenciómetro (McKean, 1993), presencia de alófanos por medio de una reacción entre fluoruro de sodio (NaF) con fenolftaleína (fenol 1%) y el suelo (C. Garavito, comunicación personal, 5 de septiembre de 2019), materia orgánica aplicando gotas de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) a las muestras (Lizcano *et al.*, 2017) y carbonatos sometiendo el suelo a la acción de ácido clorhídrico (HCl) (FAO, 2021).

3.2.2 Análisis multitemporal

A partir de imágenes satelitales Landsat 5, 7 y 8, se realizó una clasificación supervisada desde el año 2008 hasta 2019. Se partió de cierto conocimiento de la zona del estudio, adquirida por la experiencia previa y trabajo de campo desarrollados en los meses de junio-agosto de 2019. Logrando establecer sobre la imagen, áreas lo suficientemente representativas para la composición de la leyenda (Reuter, 2002), es decir, se ejecutó un reconocimiento de patrones espaciales para determinar los valores de cada pixel a partir de datos de referencia. En primer lugar, se desarrolló una combinación de bandas para identificar fácilmente los diferentes tipos de cobertura. Teniendo en cuenta que cada satélite posee bandas espectrales diferentes, se utilizó una combinación única. Para los satélites Landsat 5 y Landsat 7 la combinación de bandas correspondió a la 4, 5, 3 mientras que para Landsat 8 fue 5, 6, 4 (Matellanes, 2017). En segundo lugar, se ejecutaron correcciones de bandeado a las imágenes tomadas por el satélite Landsat 7 ya que este presenta una mala calibración que

ha generado la aparición de líneas de ausencia de información (López & Torres, 2017). Por otro lado, muchas de las imágenes utilizadas tenían alta nubosidad y sombras, por lo tanto se ejecutó un mosaico entre dos fotografías (tomadas dentro de un mismo periodo de tiempo) permitiendo remover en su totalidad estas características (Meaden & Kapetsky, 1992).

4. Resultados

4.1 Análisis de laboratorio

En total se analizaron 14 muestras de sedimento correspondientes a las seis playas que frecuentaron las tortugas. La especie *P. expansa* fue excluida del análisis debido a la escasez de datos. De seis playas, solo en dos fueron encontrados nidos. Sin embargo, en la Tabla 1 fue plasmada la información para evidenciar la escasez de esta especie en comparación con las demás. En cuanto a las características físicas, respecto a textura se encontraron las siguientes fracciones: Arena Gruesa (AG) y Limo (L). La fracción AG tuvo mayor predominancia al registrarse en una proporción 9:14. Referente al color, se evidenciaron tonalidades: marrón dentro del matiz 2.5Y, estas corresponden a marrón oliva oscuro (2.5Y 3/3) y marrón grisáceo muy oscuro (2.5Y 3/2); en el que 2.5Y 3/3 tuvo mayor repetición, presente en un total de 8 muestras. Los valores de densidad real se encontraron dentro de la escala 0.4-0.78 g/cm³. En cuanto a las características químicas, se obtuvo un rango de pH de 6.08-6.65, correspondiente a suelos neutros con tendencia hacia la acidez. La materia orgánica y la presencia de alófanos fue positiva en todas las muestras tomadas, mientras que, para carbonatos, los resultados demostraron la ausencia de estos (Tabla 1).

4.2 Análisis multitemporal

La corrección de bandeo se ejecutó exitosamente para las imágenes satelitales de los años 2008, 2012, 2013, 2014, 2016, 2017 y 2018. Respecto a los mosaicos, se logró remover en su totalidad nubes densas y sombras para los años 2008, 2009, 2011, 2013, 2014, 2015, 2017, 2018 y 2019. Durante el desarrollo de la combinación de bandas se visualizó una diferenciación considerable entre la cobertura del suelo y los cuerpos de agua. Finalmente se obtuvo un total de 12 clasificaciones supervisadas que evidencian la variación notable, en términos de tamaño, forma y ubicación, que año a año presentan las playas dentro de una escala espacio-temporal (Figura 2), así como la aparición de dos nuevas áreas, a partir del año 2017 en el curso del río, las que han aumentado su extensión con el paso del tiempo (resaltadas en la figura con un ovalo de línea punteada). También se evidenció un cambio en la morfología de la isla de Corea, se observa más alargada y puntiaguda en el costado suroriental mientras que el brazo del río, ubicado al suroccidente de la isla, se ha hecho más angosto, delimitado por un rectángulo (Figura 2).

Tabla 1. Resultados de los análisis de laboratorio, características físico-químicas del suelo por playa y especie

Característica	Playa					
	Alta	Media	Baja	Tori	Corea	Arara
<i>Textura</i>						
<i>P. sexcubertulata</i>	AG	AG	AG	Limoso	AG	AG
<i>P. expansa</i>	N/A	AG	N/A	N/A	N/A	AG
<i>P. unifilis</i>	Limoso	AG	Limoso	Limoso	Limoso	AG
<i>Color</i>						
<i>P. sexcubertulata</i>	2.5Y 3/2	2.5Y 3/3	2.5Y 3/3	2.5Y 3/2	2.5Y 3/3	2.5Y 3/3
<i>P. expansa</i>	N/A	2.5Y 3/3	N/A	N/A	N/A	2.5Y 3/3
<i>P. unifilis</i>	2.5Y 3/2	2.5Y 3/3	2.5Y 3/2	2.5Y 3/2	2.5Y 3/2	2.5Y 3/3
<i>Densidad real (g/cm³)</i>						
<i>P. sexcubertulata</i>	0.78	0.53	0.76	0.77	0.55	0.61
<i>P. expansa</i>	N/A	0.63	N/A	N/A	N/A	0.5
<i>P. unifilis</i>	0.74	0.68	0.71	0.72	0.4	0.52
<i>pH</i>						
<i>P. sexcubertulata</i>	6.08	6.14	6.12	6.39	6.32	6.64
<i>P. expansa</i>	N/A	6.12	N/A	N/A	N/A	6.44
<i>P. unifilis</i>	6.28	6.35	6.17	6.21	6.38	6.65
<i>Materia orgánica</i>						
<i>P. sexcubertulata</i>	Si	Si	Si	Si	Si	Si
<i>P. expansa</i>	N/A	Si	N/A	N/A	N/A	Si
<i>P. unifilis</i>	Si	Si	Si	Si	Si	Si
<i>Alófanos</i>						
<i>P. sexcubertulata</i>	Si	Si	Si	Si	Si	Si
<i>P. expansa</i>	N/A	Si	N/A	N/A	N/A	Si
<i>P. unifilis</i>	Si	Si	Si	Si	Si	Si
<i>Carbonatos</i>						
<i>P. sexcubertulata</i>	No	No	No	No	No	No
<i>P. expansa</i>	N/A	No	N/A	N/A	N/A	No
<i>P. unifilis</i>	No	No	No	No	No	No

Fuente: elaboración propia.

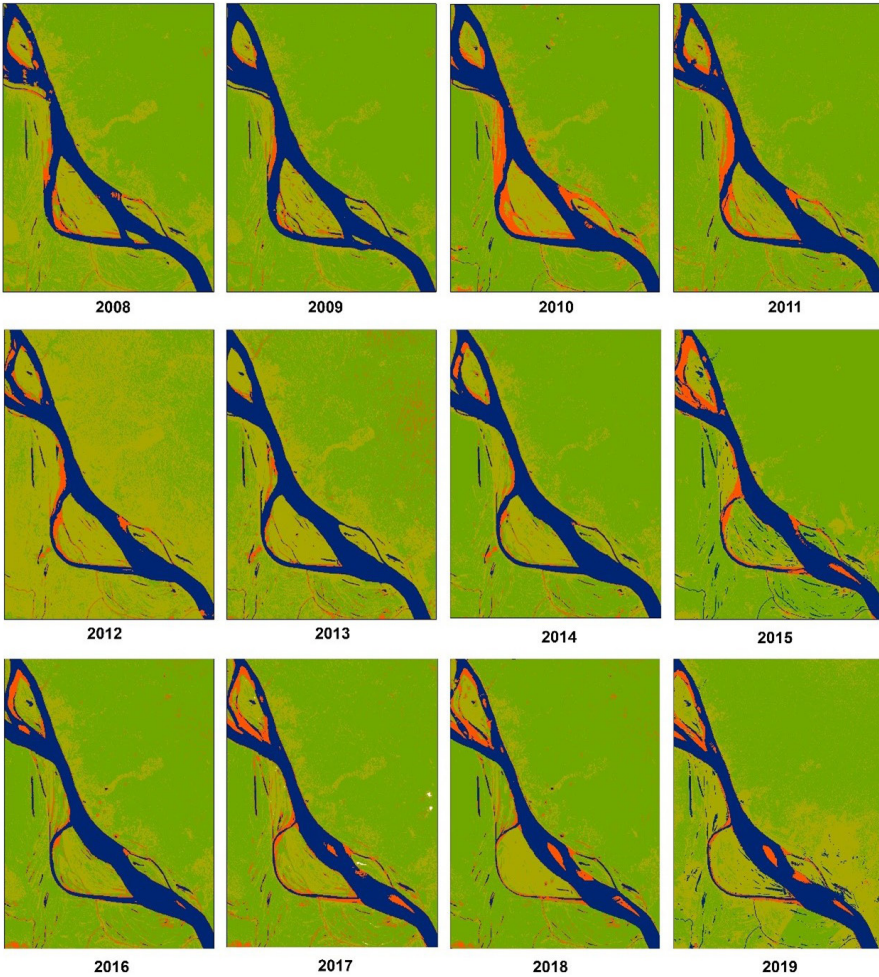


Figura 2. Multitemporal de la disponibilidad de las playas de anidación, años 2008-2019.

Fuente: elaboración propia.

5. Discusión

5.1 Análisis de laboratorio

En las playas: baja, alta y Corea la textura del suelo es mixta, lo que corresponde con las características de los “sedimentos transportados por un río [el cual] no está constituido por partículas idénticas” (Valenzuela-Carpio, 2019). Los suelos de tipo arenoso y limoso representan texturas óptimas para la anidación debido a su rápida permeabilidad y compactación, facilitando el humedecimiento de

la arena y previniendo que el nido se llene del sustrato (Martínez-Callejas, S.; Trujillo, F.; Quinche, C; Millán, J. & Antelo R., 2013). El color del suelo influye en la temperatura de este, aquellos que son oscuros absorben más la radiación solar, factor importante en la determinación del sexo de las tortugas (Bull, 1980). Si la temperatura incrementa 1°C, la probabilidad de que nazcan más hembras es mayor, pero si disminuye 1°C, serán más machos (Martínez-Callejas et al., 2013). Es decir, es necesario un balance en la temperatura de los sustratos para que haya una equivalencia entre el nacimiento de hembras y machos. La densidad de los suelos exhibe alta variabilidad, un valor de 0.5 g/cm³ hace alusión a suelos con muchos espacios y por lo tanto, buen drenaje (GLOBE, 2005). Esta característica se relaciona con la textura. La compactación de los suelos en las playas es baja en estado seco, el sustrato presenta espacios entre los granos que la conforman y, al entrar en contacto con el agua, permiten que se filtre rápidamente para favorecer el moldeo del nido. En cuanto al pH los resultados obtenidos evidencian suelos básicos y ligeramente ácidos cuya disponibilidad de nutrientes es alta (Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes, 2019). No obstante, se determinó que esta no es una característica influyente en la selección de zonas para la oviposición ya que los huevos no necesitan de nutrientes externos para su desarrollo. Sin embargo, se infiere que los niveles obtenidos son óptimos para la anidación puesto que un pH ácido podría provocar alteraciones en la calcificación de los caparazones de los neonatos (Acuña, Castaing, & Flores, 1983).

Las pruebas cualitativas aplicadas registran la presencia de materia orgánica, que en exceso puede fomentar la presencia de hongos, específicamente se ha encontrado que *Fusarium solani* afecta el desarrollo de los huevos, incluso causando la muerte masiva dentro del nido (Sarmiento-Ramírez *et al.*, 2010). Sin embargo, teniendo en cuenta los registros recolectados durante los años activos del programa de conservación de tortugas en el área de estudio, se considera que los valores de materia orgánica son óptimos, hasta el momento, los hongos no han sido un factor de riesgo para el desarrollo embrionario. En cuanto al componente de alófanos, su presencia se deriva de la formación geológica del ecosistema amazónico, el cual tiene rocas magmáticas e ígneas de la época precámbrica (Gardi *et al.*, 2014). No obstante, se considera que estos elementos podrían ser transportados desde otros lugares a través del viento o de las desembocaduras del río. Por último, la carencia de carbonatos en las muestras analizadas se relaciona con la escasa vegetación en suelos (Santaella & González, 1965) tal y como se evidenció en las playas que utilizan las tortugas. Estos elementos se acumulan en lugares donde hay poca erosión, permitiendo deducir que en las zonas de anidación de las tortugas se presenta tal fenómeno. Actualmente no se han documentado afectaciones a los nidos por erosión, sin embargo es importante desarrollar investigaciones encaminadas a este parámetro ya que se conoce que fomenta el descubrimiento de nidos y la consecuente mortalidad embrionaria (Ceballos-Fonseca, 2004).

Con el fin de explorar los datos de forma cuantitativa, se escogieron algunas de las variables de acuerdo con las siguientes condiciones: presencia

de la medición y variación entre ellas. Sus valores se agruparon en una tabla relacionando lugares (playas) y especies con las variables: densidad, pH y textura (Tabla 2). Para la variable textura se asignaron valores numéricos de acuerdo con la clasificación encontrada durante el desarrollo de la metodología, se estableció un mayor valor a la textura de tipo Arena Gruesa (6) seguida por Limo (3). En el resumen de la estadística descriptiva (Tabla 3), se puede observar que se incluyó el cálculo del coeficiente de variación en porcentaje que se utiliza para “comparar la variabilidad de los datos en igual o diferente escala” (Vásquez y Caballero, 2011). Los valores de densidad y pH del suelo presentan bajo porcentaje de variabilidad y se considera por lo tanto que los datos presentan mayor homogeneidad. Con respecto a la textura, el valor corresponde a una dinámica moderada, de lo que se podría asumir que los datos son menos uniformes que las otras variables, no obstante, es necesario analizar esto con cuidado porque corresponden a categorías asignadas. De forma complementaria se realizaron pruebas de correlación entre todas las variables y de forma individual, obteniéndose resultados no significativos. Lo anterior demuestra que con esta serie de datos es imposible aseverar que las variables medidas influyan en la escogencia de las playas y en la posible utilización diferencial por especies de tortugas.

Tabla 2. Correlación variables escogidas vs. especie y playa

<i>Playas y especie</i>	<i>Densidad (g/cm³)</i>	<i>pH</i>	<i>Textura</i>
<i>Alta_P.sexubertulata</i>	0,78	6,08	6
<i>Media_P.sexubertulata</i>	0,53	6,14	6
<i>Baja_P.sexubertulata</i>	0,76	6,12	6
<i>Tori_P.sexubertulata</i>	0,77	6,39	3
<i>Corea_P.sexubertulata</i>	0,55	6,32	6
<i>Arara_P.sexubertulata</i>	0,61	6,64	6
<i>Media_P.expansa</i>	0,63	6,12	6
<i>Arara_P.expansa</i>	0,5	6,44	6
<i>Alta_P.unifilis</i>	0,74	6,28	3
<i>Media_P.unifilis</i>	0,68	6,35	6
<i>Baja_P.unifilis</i>	0,71	6,17	3
<i>Tori_P.unifilis</i>	0,72	6,21	3
<i>Corea_P.unifilis</i>	0,4	6,38	3
<i>Arara_P.unifilis</i>	0,52	6,65	6

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Resultado de la estadística descriptiva aplicada a los datos escogidos

<i>Estadística descriptiva</i>	<i>Densidad</i>	<i>pH</i>	<i>Textura</i>
Media	0,63571429	6,30642857	4,92857143
Desviación estándar	0,11972496	0,18370575	1,49173547
Rango	0,38	0,57	3
Mínimo	0,4	6,08	3
Máximo	0,78	6,65	6
N	14	14	14
Coefficiente de variación	18,83	2,91	30,27

Fuente: elaboración propia.

5.2 Análisis multitemporal

Las correcciones desarrolladas fueron un proceso único e indispensable para el óptimo tratamiento de cada imagen, logrando mejorar aspectos como distorsiones atmosféricas y errores del satélite. Con respecto a los mosaicos, teniendo en cuenta que este es un proceso que podría generar problemas radiométricos y geométricos cuando las escenas combinadas son captadas en distintos periodos del año (Sanjurjo & Kalliola, 2004), el procedimiento se desarrolló entre imágenes satelitales de un mismo periodo, específicamente del mismo mes o con uno o dos meses de diferencia, evitando fechas muy lejanas y por consiguiente, composiciones entre distintos años. La combinación de bandas no es un procedimiento imprescindible, sin embargo, se consideró pertinente realizarlo pues de esta manera se presentaron colores más vivos, en comparación con las tonalidades reales que presentan las imágenes satelitales, facilitando la diferenciación a simple vista de los distintos tipos de cobertura y así, determinar las firmas espectrales.

Cada una de las áreas de anidación presentó variaciones particulares. Playa baja, junto con la isla de Corea, han adoptado una forma alargada y puntiaguda. Respecto a playa media los cambios anuales no están representados en términos de variabilidad gradual sino drástica: en 2011 y 2012 alcanzó su máxima área, mientras que, en 2013 era casi imperceptible. Referente a playa alta, haciendo un comparativo entre 2008 y 2012 esta fue aumentado gradualmente de tamaño, siendo 2010 y 2011 los años en los que mayor extensión tuvo. Sin embargo, después de este periodo, ha ido incrementando la vegetación. Playa Arara apareció en el año 2015 cambiando notablemente de un periodo a otro, siendo 2015 y 2018 las fechas donde alcanzó el máximo tamaño, mientras que en 2016 tuvo la extensión más reducida registrada. Playa tori, entre los años 2008 y 2019, se ha visto altamente sujeta a cambios debido a la variación que la isla de Corea ha presentado. Se evidencia la reducción de su extensión año a año debido al achatamiento del brazo del río que la rodea, hacia el límite suroccidental en la frontera con Perú. Por último, en lo que respecta a Playa

Corea, en comparación con las demás, es la que menor extensión posee, por lo tanto, sus variaciones no son muy notables. Las dos nuevas playas formadas a partir de 2017 no hacen parte de las zonas amparadas por el programa de conservación, sin embargo, seguramente entrarán bajo su jurisdicción pues es probable que tortugas desoven en estos lugares.

Se entiende que la disponibilidad de las áreas de anidación hace parte de un ciclo dinámico, variable y frágil pues como afirman Medina *et al.*, (1995) “estas no son elementos estáticos sino que cambian su forma a lo largo del tiempo”. Dinámico y variable, porque están sujetas a la morfología del río, por lo tanto, no hay un factor que garantice o permita determinar que x playa saldrá en cierta temporalidad, así como tampoco se puede saber con exactitud el tamaño que esta abarcará. Y frágil, refiriéndose al efecto de factores naturales (sedimentación) y antrópicos (cambio climático) que influyen en la formación de las playas.

Las comunidades indígenas de la zona han observado y manifestado que existe una dinámica cronológica en la utilización de las playas que no solo depende de la inundación o de la disponibilidad de áreas sino del cambio en la textura del sedimento: las playas antiguas poco a poco desarrollan vegetación y no son de preferencia por las tortugas, mientras que aquellas playas jóvenes sí. El cambio en la forma de las playas también influye en la selección de zonas de anidación, así como en la cantidad de madres registradas, considerándolo como un proceso natural que depende del curso del río. Conocer y analizar estos cambios contribuye a la conservación de estas especies, especialmente para su monitoreo, así como la comprensión de sus preferencias al momento de anidar.

6. Conclusiones

Las clasificaciones supervisadas permitieron evidenciar que año a año la disponibilidad de las playas es bastante variable en cuestión de tamaño y surgimiento. Son zonas altamente inconsistentes en términos de ubicación y sujetas a diversos cambios ya sea por la morfología del río u otros factores ambientales que pueden condicionar también las características de los sedimentos. Esto puede ser un elemento positivo o negativo, positivo en el sentido de que puede haber más zonas de anidación para las tortugas y negativo porque si llegase a haber alguna alteración que retrase la formación de las mismas, las tortugas no contarían con zonas óptimas para la oviposición, generando pérdidas.

Es de gran importancia seguir incluyendo en este tipo de estudios la toma de datos de las variables físicas y químicas de los sedimentos relacionados con los sitios que utilizan las tortugas con el fin de entender la dinámica asociada con la escogencia y utilización de lugares por parte de las especies. Asimismo, este conocimiento permitirá integrar la información con el conocimiento local, pues como manifestaron los pobladores, los lugares donde anidan las tortugas

corresponden a ciertas particularidades del suelo, que son de interés por parte de estos reptiles ya que tienen un sentido ecológico y biológico.

Agradecimientos

Un especial agradecimiento a las comunidades de Santa Sofía, Nuevo Jardín, El Progreso, Yahuma I y El Barranco, por el apoyo brindado. A la Asociación Curuinsi Huasi (familia Carihuasari): Rogelio (Padre), Nabil, Marcela de Silva, Rafael Conde, Rogelio (hijo) y sus niños Noemi, Pancho, Nuria, Lucía, Pedro, Randal, Karen, Mecha, Pelacho y Hortencia, por su guianza en cada momento y por compartir sus conocimientos ancestrales y experiencias vividas. Así mismo, agradecimiento a la Fundación Biodiversa Colombia por permitirnos hacer parte del programa. Finalmente, a la MSc. Constanza Garavito Muñóz por su asesoramiento durante el laboratorio de análisis de suelos.

Bibliografía

- Acuña, R., Castaing, A., & Flores, F. (1983). Aspectos ecológicos de la distribución de las tortugas terrestres y semiacuáticas en el Valle Central de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 31 (2), 181–192. <https://doi.org/10.15517/rbt.v31i2.24932>
- Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes (2019). *Clasificación del pH*. <https://aefa-agronutrientes.org/glosario-de-terminos-utiles-en-agronutricion/clasificacion-del-ph>
- Andrades, M., Molenir, A., & Masaguer, A. (2015). *Prácticas de edafología: métodos didácticos para análisis de suelos* [en línea]. Editorial Universidad La Rioja, Logroño. ISBN: 978-84-608-5117-2. 13-14
- Bull, J. (1980). Determinación sexual en reptiles. *The Quarterly Review of Biology*, 55 (1), 3–21. <https://doi.org/10.1086/411613>
- Camacho, H. S. y Quiñonez, D. A. (2020). Relación entre la dinámica pluvial del río Amazonas y la formación de barras en el corregimiento de Santa Sofía (Amazonía colombiana), donde anida la tortuga charapa (*Podocnemis expansa*). Trabajo de grado. Programa de Ingeniería Geográfica y Ambiental. Facultad de Ciencias Ambientales y de la Sostenibilidad. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA).
- Campos, A., Oleschko, K., Cruz, L., Etchevers, B., Jorge, D. & Hidalgo C. (2001). Estimación de alófono y su relación con otros parámetros químicos en Andisoles de montaña del volcán Cofre de Perote. *Revista Terra Latinoamericana*, 19 (2), 105-116.
- FAO (2021). *Procedimiento operativo estándar para el análisis de carbonato de calcio equivalente en suelo-Método de titulación*. Roma. <http://www.fao.org/3/ca8621es/ca8621es.pdf>
- Figueiredo, J., Hoorn, C., van der Ven, P., & Soares, E. (2010). Late Miocene onset of the Amazon River and the Amazon deep-sea fan: Evidence from the Foz do Amazonas Basin: Reply. *Geology*, 38 (7), 213. <https://doi.org/10.1130/G31057Y.1>
- Arbeláez, F., Gutiérrez, D., Cadavid, A., Premauer, A., & Vargas-Ramírez, M. (2009). Initial actions towards the conservation of three species of endangered river turtles in the Colombian Amazonia. Community-bases nests monitoring and educational pilot programs. Fundación BioDiversa Colombia.

<https://www.fundacionbiodiversa.org/wordpress/wp-content/uploads/2014/08/Final-report-2008.pdf>

Fundación BioDiversa Colombia (2015). *Empoderamiento de los Grupos Locales de Conservación*. Fundación BioDiversa Colombia.

<https://www.fundacionbiodiversa.org/wordpress/como-empoderamos-grupos-locales-de-conservacion/>

Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendonça Santos Brefin, M. L., Montanarella, L., Muniz Ugarte, O., Schad, P., Vara Rodríguez, M.I., & Vargas, R. (eds.) (2014). *Atlas de suelos de América Latina y el Caribe*, Comisión Europea-Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, L-2995 Luxembourg, 176 pp.

GLOBE (2005). Un vistazo a la investigación de suelos. *Global Learning and Observation to Benefit the Environment-NASA*, p. 15.

González-Zárate, A, Montenegro, O. L., & Castaño-Mora, O. V. (2011). Caracterización del hábitat de la tortuga de río Podocnemis lewyana, en el río prado, aguas abajo del embalse de hidroprado, Tolima, Colombia. *Revista Caldasia*, 33 (2), 471-493. <http://www.scielo.org.co/pdf/cal/v33n2/v33n2a11.pdf>

Hernández, L. (2020). [Caracterización de la playa Los cocos sector Mendihuaca-Magdalena durante el seguimiento de la temporada de anidación de tortugas marinas 2019. Tesis de Pregrado, Universidad Jorge Tadeo Lozano].

<http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf>

Ceballos-Fonseca, C. (2004). Distribución de playas de anidación y áreas de alimentación de tortugas marinas y sus amenazas en el caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR)*, 33 (1).

Junk, W. J. & Wantzen K. M. (2004). *The Flood Pulse Concept: New Aspects, Approaches and Applications*. Max-Planck-Institute for Limnology, Working Group Tropical Ecology, P.O. Box 165, 24302

Lizcano, R., Olivera, D., Saavedra, D., Machado, L., Rolando, E., Moreni, M., & Fidel, M. (2017). *Muestreo de suelos, técnicas de laboratorio e interpretación de análisis de suelos*. Centro de Formación Agroindustrial La Angostura, Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) y Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación (SENNOVA), p. 47.

López, D., & Torres, A. (2017). *Diplomado en análisis de información geoespacial: análisis de datos tipo raster*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y Centro de Investigación en Geografía y Geomática. Ciudad de México, México (p. 6).

Martínez-Callejas, S.; Trujillo, F.; Quinche, C; Millán, J. & Antelo R. (2013). *Guía práctica para el cuidado y conservación de nidadas de tortuga y terecay*. Fundación Omacha, Fundación Palmarito. Cartilla divulgativa serie de especies amenazadas. Bogotá, D.C., Colombia, 40 pp.

Márquez, R. (2000). *Las tortugas marinas y nuestro tiempo (No. 597)*. Fondo de Cultura económica. <http://www.bio-nica.info/Biblioteca/Marquez1996LasTortugasMarinas.pdf>

Matellanes, R. (2017). *Composiciones RGB de imágenes satélite*. Geoinnova.

<https://geoinnova.org/blog-territorio/composiciones-rgb-de-imagenes-satelite/>

May, F., MacDonald, C., Méndez, A., & Muñoz, M. (2018). Caracterización físico-química de las playas Barú-Guapil para la anidación y el desarrollo óptimo de la tortuga lora *Lepidochelys olivacea* en Hacienda Barú, Puntarenas. *Revista Gaudemus*, 10 (1), 1-16. <https://revistas.ulatina.ac.cr/index.php/gaudemus/article/view/186>

McKean, S. (1993). *Manual de análisis de suelos y tejido vegetal: una guía teórica y práctica de metodologías*. Centro Internacional de Agricultura Tropical-CIAT. Palmira, Colombia.

- Meaden, G., & Kapetsky, J. (1992). La telepercepción como fuentes de datos. En G. Meaden & J. Kapetsky (Ed.), *Los sistemas de información geográfica y la telepercepción en la pesca continental y la acuicultura* (45-98). Roma, Italia.
- Medina, R., Losada, I., Losada, M. A., & Vidal, C. (1995). Variabilidad de los perfiles de playa: forma y distribución granulométrica. *Revista Ingeniería del Agua*, 2 (1), 133-142. <https://doi.org/10.4995/ia.1995.2668>
- OILM. (2011). *Guía OILM G-14: Medición de densidad*. Organización Internacional de Metrología Legal. <https://www.oilm.org/en/publications/other-language-translations/spanish/g014-es11.pdf>
- Pezzuti, J. C., Lima, J. P., da Silva, D. F., & Begossino, A. (2010). Uses and taboos of turtles and tortoises along Rio Negro, Amazon basin. *Journal of Ethnobiology*, 30 (1), 153-168. <https://doi.org/10.2993/0278-0771-30.1.153>
- Pineda, R. (2013). El río Amazonas: un gigante indomado. Una mirada hacia su historia contemporánea (1500-2010). *Boletín Cultural y Bibliográfico*, 47 (84), 36-65. https://publicaciones.banrepcultural.org/index.php/boletin_cultural/article/view/117/115
- Ramiro Vásquez, E., & Caballero, A. (2011). Inconsistencia del Coeficiente de Variación para expresar la variabilidad de un experimento en un modelo de Análisis de Varianza. *Cultivos Tropicales*, 32 (3), 42-45. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362011000300006&lng=es&lng=es
- Reuter, F. (2002). *Transformaciones de la imagen: clasificaciones supervisadas y no supervisadas*. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Santiago del Estero, Argentina, 102-122.
- Rosenzweig, M. (1981). A theory of habitat selection. *Journal of Ecology*, 62 (2), 327-335. <https://doi.org/10.2307/1936707>
- Sanjurjo, J., & Kalliola, R. (2004). Manual para la elaboración de mosaicos de imágenes de satélite Landsat TM para la selva baja peruana (documento técnico no. 03). Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), Universidad de Turku, Biota BD Oy y Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Iquitos-Perú, (p. 29).
- Santaella, G., & González, A. (1965). Influencia del carbonato de calcio en las propiedades químicas de un suelo de la terraza de Villa-rica (Cauca). *Revista Acta Agronómica*, 15 (1-4), 33-59. https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/48927
- Sarmiento-Ramírez, J., Abella, E., Martín, M. P., Tellería, M. T., López-Jurado, L. F., Marco, A., & Diéguez-Uribeondo, J. (2010). Fusarium solani is responsible for mass mortalities in nests of loggerhead sea turtle, *Caretta caretta*, in Boavista, Cape Verde. *FEMS Microbiology Letters*, 312(2), 192-200. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2010.02116.x>
- SIAT-AC (2015). *Subregiones de la Amazonía colombiana*. Sistema de Información Ambiental Territorial de la Amazonía colombiana. <http://siatac.co/web/guest/region/subregiones>
- USDA, & NRCS (2000). *Cálculo de la humedad del suelo por tacto y apariencia*. Program Aid 1619-SP. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, p. 13.
- Valenzuela-Carpio, J. (2019). [Cuantificación de la capacidad de transporte de sedimentos en el río Amazonas, Loreto, Perú. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos], Lima, Perú.

Potential Threat Assessment and Degree of Exposure in the event of an Explosion by Sudden Expansion of Boiling Liquid Vapor in the LPG Ground Storage Terminal in Monteverde, coastal Ecuador

Evaluación de la amenaza potencial y grado de exposición en caso de una explosión por expansión súbita del vapor de líquido hirviendo, en la terminal de almacenamiento en tierra de GLP en Monteverde, Costa del Ecuador

Adriana Gabriela Morales Delgado¹

Kervin Arturo Chunga Morán²

Theofilos Toulkeridis³

Recibido 4 de abril de 2023; aceptado 29 de junio de 2023

ABSTRACT

The industrial complexes that handle dangerous products with flammable characteristics have been the cause of great misfortunes when sudden explosions are generated, either due to mechanical failures or human negligence. The Monteverde Gas Complex (MGC), located in the province of Santa Elena in Ecuador, represents a potential risk by housing close to 105,000 m³ of precursor gases such as Propane (PPN), Butane (BTN), and LPG finished product. Therefore, an analysis of the potential threat to which the population is exposed in case of the explosion of one of the tanks with the different products they contain has been carried out, considering the closest communes to the MGC, which are Monteverde and Jambelí. Tools such as the

¹ Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador, correo electrónico: amoralesd@upse.edu.ec.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1138-2046>

² Universidad Técnica de Manabí, Ecuador, correo electrónico: kervin.chunga@geoenergia.gob.ec.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2286-1843>

³ Universidad de la Fuerzas Armadas (ESPE), Ecuador, correo electrónico: ttoulkeridis@espe.edu.ec.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1903-7914>

Probit method proposed by TNO (The Netherlands Organization for Scientific Research), and the ALOHA software of the EPA (Environmental Protection Agency, USA) were used, whose combinations allowed estimating the radius of influence, which were divided into zones according to the degree of impact on the community. The results demonstrated that the community of Monteverde, despite being more than 1 km away from the CGM, is within the red zone or high influence radius that corresponds to 2000 meters for propane and butane tanks.

Whitin this area, a person could have fatal third-degree burns. The calculations have been performed under ideal conditions, so it is recommended to review the attenuations generated by natural elevations of the terrain or the direction of the wind in further studies.

Key words: *BLEVE, Monteverde Gas Complex, Vulnerability, Santa Elena, Ecuador.*

RESUMEN

Los complejos industriales que manejan productos peligrosos con características inflamables, han sido causa de grandes desgracias al generar explosiones repentinas, ya sea por fallas mecánicas o por negligencia humana. El Complejo Gasífero de Monteverde (CGM), ubicado en la provincia de Santa Elena en Ecuador, representa un riesgo potencial al albergar cerca de 105.000 m³ de gases precursores como Propano (PPN), Butano (BTN) y GLP como producto terminado.

Por este motivo, se ha realizado un análisis de la amenaza potencial a la que la población se encuentra expuesta en caso de la explosión de uno de los tanques con los diferentes productos que contienen, para esto se consideró a las comunas mas cercanas al CGM que son Monteverde y Jambelí. Se utilizaron herramientas como el método Probit propuesto por TNO (The Netherlands Organisation for Scientific Research), y el software ALOHA de la EPA (Environmental Protection Agency, USA), cuyas combinaciones permitieron estimar el radio de influencia, los cuales se dividieron en zonas según al grado de impacto en la comunidad. Los resultados demostraron que la comunidad de Monteverde, pese a encontrarse a más de 1 km del CGM, se encuentra dentro de la zona roja o de alta influencia que corresponde a 2000 metros, para los tanques de propano y butano. En ésta área, una persona podría tener quemaduras fatales de tercer grado. Los cálculos se han realizado en condiciones ideales, por lo que se recomienda revisar las atenuaciones generadas por elevaciones naturales del terreno o la dirección del viento en estudios posteriores.

Palabras clave: *BLEVE, Complejo de Gas Monteverde, Vulnerabilidad, Santa Elena, Ecuador*

1. Introduction

The global economy and industries are still predominantly dependent on energy from hydrocarbon and other fossil sources (Sarvestani *et al.*, 2021; Litvinenko, 2020; Huber, 2009). Subsequently, its exploitation, processing and storage have led to the construction of large industrial complexes that house large amounts of materials with mainly flammable characteristics (Nicoletti *et al.*, 2015; Schmidt *et al.*, 2016; Burnes & Camou, 2019; Segura-Alcívar *et al.*, 2019). These infrastructures have been on several occasions the cause of

misfortunes due to improper handling or accidental release of these substances considered dangerous due to their toxicity, flammability and the pressure at which they are stored (Makhviladze *et al.*, 1998; Pietersen and Huerta, 1984; Arturson, 1987; Pietersen, 1988; de Souza, 2000; Cutter, 1991; 2012; Cutter *et al.*, 2012; Tavares, 2011; Jetel, 2017). Liquefied petroleum gas (LPG) is one of these materials that represents a potential threat since it has the ability to expand rapidly and generate an explosion (Tauseef *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2022; Martins *et al.*, 2016; Rasbash, 1980; Fay, 1980).

However, a Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion (BLEVE) is considered one of the most devastating accidents that could occur in an industrial LPG plant (Keltner *et al.*, 1998; Abbasi, 2007; Eckhoff, 2014). Such catastrophic event is accompanied by a destructive wave of flames and metallic missiles from the storage tank burst (Tauseef *et al.*, 2010; Abbasi & Abbasi, 2007; Birk *et al.*, 2007). By proper definition, BLEVE is a process of sudden release of superheated combustible gas, which can occur due to mechanical defects of the container, corrosion, internal overheating, among others (Abbasi, 2007; Keltner *et al.*, 1998). The BLEVE occurs, when the temperature of the storage containers increases generating overpressure in its internal walls until, the mechanical resistance of the tank is exceeded and it explodes (Prugh, 1991).

An additional context for BLEVE's occurrence, is loss of the mechanical integrity of the tank by external factors, creating a rupture. The sudden change in pressure and temperature caused by the rapid release of the gas causes instantaneous vaporization, which, when ignited, generates an explosion with a great expansive range (Hemmatian *et al.*, 2015; Abbasi, 2006; Chakrabarty, 2021).

Among the most unfortunate cases of accidents due to BLEVE in facilities with LPG storage occurred in San Juan de Ixhuatepec, in Mexico in 1985, killing 650 people and approximately 6,400 injuries (Mannan *et al.*, 2005; López-Molina *et al.*, 2012; Arturson, 1987). A further case occurred in Rio de Janeiro, Brazil, in 1972, where five storage spheres and cylinders exploded, causing the death of 53 people and 37 injuries (Casal *et al.*, 2001; Mannan *et al.*, 2005; Kumar, 2014). In 2007 in Texas, United States, a sphere exploded causing the death of 13 people (Sarvestani, 2021). Finally, the most recent case, occurred in the Amuay refinery, in Venezuela, where a massive leak of olefins and gas, caused an explosion that killed 47 people and injured 137 others (Schmidt *et al.*, 2016; Simanjuntak *et al.*, 2017; Klein & Vaughn, 2017).

This preamble had indicated the need to perform an analysis of the hazards and consequences of this type of facility. Clearly becomes necessary to anticipate the possible impacts on the inhabitants and assets, both public and private, to find alternatives to mitigate and reduce a potential affectation, in case of a BLEVE (Keddy, 2012; Malviya & Rushaid, 2018). These types of events are unpredictable; therefore the potential damage is underestimated by the authorities and residents who end up developing settlements closer to the facilities, without realizing the risks that entails (Malviya & Rushaid, 2018). As part of the risk identification process, it is necessary to conduct a vulnerability analysis (Birkmann, 2007; Rausand, 2013; Cardona, 2013). This type of analysis

facilitates the estimation of the possible and potential level of damage that the inhabitants could be exposed to in the nearby settlements, very likely being threatened to live or work within the risk zones around these industrial complexes (Anjana *et al.*, 2016).

Therefore, the main purpose of this study is to provide a tool to assess the risk of explosion by BLEVE in the onshore Gas Storage Complex, located in Monteverde, Santa Elena province in Ecuador. Firstly, we may calculate the radius of affectation and its potential extent in all directions, in order to identify the nearby communities that could be included within the affectation radius of the event. Furthermore, we may analyze the vulnerability of the people settled in nearby localities. Consequently, this study will facilitate the implementation of safety measures and limitations to the urban expansion projects for the local authorities, and also baseline information to consider in their land use and risk population assessment plans.

1.1 Geodynamic and geological setting of Monteverde

The province of Santa Elena is located in a zone of continuous energy release, since this segment experiences subduction of the Carnegie ridge which is situated on the Nazca oceanic plate which converges ENE towards the South American and Caribbean continental plates, generating a displacement of 7 cm on average per year (Baldock 1983, Barazangi & Isacks 1976; Gutscher *et al.*, 1999, White *et al.*, 2003; Massonne & Toulkeridis, 2012; Stern, 2020; Figure 1).

Due to this geodynamic constellation, the entire province is situated along an active continental margin where a constant seismic hazard is present and being documented by historic earthquakes and tsunamis (Chunga and Toulkeridis, 2014; Rodriguez *et al.*, 2016; Toulkeridis, 2016; Toulkeridis *et al.*, 2017; Chunga *et al.*, 2017; Mato and Toulkeridis, 2018; Chunga *et al.*, 2019).

One of the most remarkable earthquakes within the study area of Monteverde occurred in October 1933 with a 6.9 Mw, situated 66 km away from the coast, with tsunamigenic potential and with wave height not greater than 2.5 m. The most recent earthquake occurred in 2016 with 7.8 Mw, at 248° north of the study site (CERESIS, 2022; Dumont *et al.*, 2005; Toulkeridis *et al.*, 2019). Based on the aforementioned, the Monteverde area was classified as very high seismicity, based on the Ecuadorian Construction Standard (NEC), where the Peak Ground Acceleration (PGA) can vary in a range of 0.45 g to 0.68 g, representing the potential to have earthquakes stronger than Mw 7.7 (Chunga *et al.*, 2019; Aviles-Campoverde *et al.*, 2020; Ortiz-Hernández *et al.*, 2022a; Ortiz-Hernández *et al.*, 2022b).

The geological unit evidenced in the study area corresponds to an Eocene sequence that encompasses conglomerates of high-density underwater currents (bed of pebbles and clay), shales and sandstones corresponding to the submarine fan of the Socorro Formation, and finally sediments deposited from the continental platform and alluvial fans from the Seca Formation (Dumont *et al.*, 2005; Malone *et al.*, 1999). This sequence is known as the Ancón group, which

begins around 56 Ma and lasts up to 39 Ma (Dumont *et al.*, 2005; Malone *et al.*, 1999).

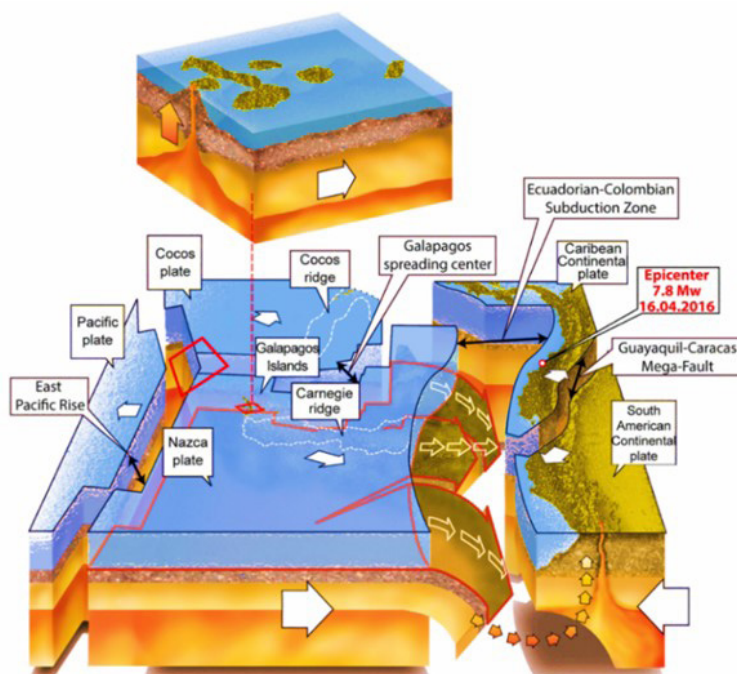


Figure 1. Geodynamic setting of Ecuador and its surrounding. The Galapagos Islands and the Carnegie Ridge form part of the oceanic Nazca plate, which subducts below the South American continent. This map shows also the location of the most recent earthquake in 2016 in coastal Ecuador. Adapted from Toulkeridis *et al.*, 2017.

1.2 General characteristics of the Monteverde Gas Complex (CGM)

The CGM is in the province of Santa Elena, within the Colonche parish, in the commune of Monteverde, from where it takes its name (Figure 2). The complex has two cryogenic propane tanks with a capacity of 32,700 m³ each, two cryogenic butane tanks with 14,900 m³ of individual storage and three spheres for LPG with 3,180 m³ of storage each. This volume of gas storage provides the country with a 30-day supply of LPG (Mindiola Robayo & Recalde Mosquera, 2009). The CGM, house storage tanks than contains compressed gas with flammable characteristics that are at low temperature and high pressure. This particularity makes the complex a potential hazard, which needs to be analyzed to establish a safe area for human settlements, to prevent disasters such as those mentioned previously (Mindiola Robayo & Recalde Mosquera, 2009; Markley *et al.*, 2022; Makhviladze *et al.*, 1998; Fay, 1980). The norm NFPA 30,

for Flammable and combustible liquids, includes LP-gases under the definition of flammable liquids, mentioning, “include those having a flash point below 100 °F (37.8 °C) and a pressure not to exceed 40 psia (276 kPa)” (NFPA 30, 2003) (Table 1).

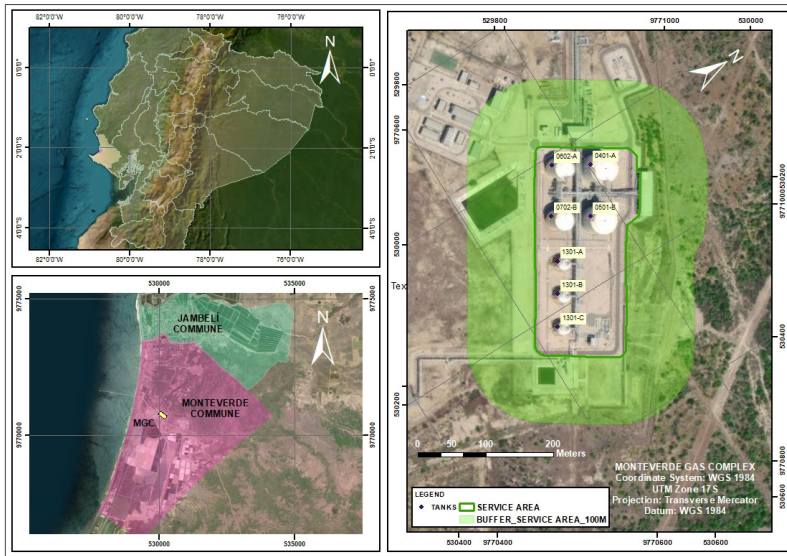


Figure 2. Upper left: Location of the province of Santa Elena on the map of Ecuador. Lower left: Monteverde and Jambelí communes within the Santa Elena canton and location of the CGM, marked in yellow. Right: Facilities of the Monteverde Gas Complex.

Table 1. Physical characteristics of the product in storage tanks and spheres

<i>Technical characteristics</i>	<i>Propane Tanks</i>	<i>Butane tanks</i>	<i>LPG spheres</i>
Volumetric capacity (m ³)	32,700	14,900	3,180
Flash point (°C)	-156	-60	-98
Internal pressure (bar)	0.118	0.118	2.7 – 14.7
Internal temperature (°C)	-42	-3	21
Height (m)	34	26	-
Internal diameter (m)	35	27	18.25
State of the stored product	Liquid state		

The commune of Monteverde has around 3,200 inhabitants and is located 4 meters above sea level. This area handles a range of ambient temperatures from 19.5 °C to 28.5 °C, a relative humidity of 80% on average and speeds of 8 knots also annual average with direction SE.

2. Methodology

The main aim has been to perform the calculation of the overpressure wave based on the NTP 293 Standard, which allows quantitatively the estimation of the value of thermal radiation associated with the explosion by BLEVE in liquefied gas storage containers (Belloví & Sierra, 2023). One of the most popular methods for the risk explosion analysis of tanks containing flammable liquids is the TNT equivalent method, however, it is necessary to mention that this method was not applied, since it constitutes the analysis of a flammable liquid substance with an oxygen content and caloric power different from the gases stored in the CGM, so it becomes inconclusive to use it. In general, the analysis applied is quantitative, which means that proven empirical methods have been used to obtain maximum and minimum values to model the behavior of the explosion, mainly of the thermal radiation received by a spectator at different distances.

The delimitation of the immediate intervention zones and the alert zone will also be managed, based on the Basic Civil Protection Guideline for the control and planning in the event of serious risks involving dangerous substances (Grossel, 1996; Freeman, 1990). For the estimation of thermal radiation, the procedure proposed in method 3 of the manual on the dynamics of industrial explosions by Botta was considered (Botta, 2015; Chen *et al.*, 2020; Mejia *et al.*, 2022). The procedure encompasses the systematic calculation of mass dependent variables and the properties of the substance ensuing attainment of the amount of thermal radiation generated, and as a direct consequence the vulnerability estimation of people in major events (Turmo, 2016). To calculate the diameter of the fireball, the following equation (1) was used:

$$D=6,48*W^{0,325} \quad (1)$$

Where, D (m) is the maximum diameter and W (Kg) corresponds to the total mass of the fuel. To calculate the height of the fireball H (m), we have:

$$H=0,75D \quad (2)$$

The duration of the fireball t (s), corresponds to the time it takes to consume the mass of gas:

$$t=0,852 W^{0,26} \quad (3)$$

The thermal radiation received, I (kW/m²), as:

$$I=d*F*E \quad (4)$$

The atmospheric transmission coefficient (d), is a function of:

$$d=2,02(P'_v*X')^{-0,09} \quad (5)$$

being P'_v (Pa) the absolute partial pressure of ambient air vapor is 1008 hPa on average considering an average relative humidity of 50%, these data has been consulted from the meteorological stations of the National Institute of Meteorology and Hydrology in Ecuador (INAMHI, 2022). The storage temperature of the gases is 20 °C. The parameter X (m) is the distance between the fireball and the location point of an observer.

The vision geometric factor (F), depends on the shape of the emitting focus and the location of the receiver, where D (m), corresponds to the maximum diameter of the fireball and X (m), the distance between the center of the sphere and the irradiated body has been taken from 250, 500, 1000, 2000, 3000, 4000 and 5000 meters.

$$F = \frac{D^2}{4X^2} \quad (6)$$

Finally, the average intensity of radiation E (KJ/m² s), is the radiant flux per unit area and time:

$$E = \frac{f_r * W * H_c}{\pi * D^2 * t} \quad (7)$$

Where,

f_r = is the radiation coefficient, with values between 0,25 – 0,40

W = total mass of fuel in kg

H_c = heat of combustion (kJ/kg)

D = maximum fireball diameter (m)

t = duration time of the bleve (sec).

The radiation coefficient f_r , indicates the fraction of total energy developed in combustion, this energy is dissipated by the convective effect generated by the smoke. In Santa Elena, the radiation coefficient is estimated at 0.25, due to Monteverde's climatic conditions, relative humidity, temperature, and wind speed and direction.

The Thermal Radiation Dose is calculated using the Eisenberg equation (Eisenberg *et al.*, 1975):

$$Dosis = t * I^{4/3} \quad (8)$$

Where;

t = exposure time (s)

I = received irradiation (W/m²)

Applying the NTP 291 standard, the estimation of the vulnerability of people due to an accident of these magnitudes was realized. The procedure consists of calculating the impact on a person due to the amount of thermal radiation received, depending on the intensity and time of exposure. The equations used have been proposed by the Dutch organization for scientific research (Turmo, 2016). First-degree burn involvement was determined using the equation:

$$Pr = -39,83 + 3,0186 \ln(t * I^{4/3}) \quad (9)$$

Second-degree burns were determined using equation (10):

$$Pr = -43,14 + 3,0188 \ln (t * I^{4/3}) \tag{10}$$

And, to estimate full thickness burns, considering unclothed body area of exposed population to be lower than 30%:

$$Pr = -14,9 + 2,56 \ln \left(\frac{t * I^{4/3}}{10^4} \right) \tag{11}$$

Thermal irradiation mortality is calculated using the method suggested by Eisenberg (Eisenberg *et al.*, 1975):

$$Pr = -14,9 + 2,56 \ln \left(\frac{t * I^{4/3}}{10^4} \right) \tag{12}$$

3. Results and discussion

The probit method is mass dependent; therefore, it is expected for the radius of influence to vary linearly with the mass of the inflammable fluid stored. The main concern around the MGC is its large storage capacity. Initially, the radio of influence was identified considering each stored flammable product at the MGC using the fireball diameter and its duration. These variables have been plotted as a function of the mass for each product available, supporting the linear behavior statement.

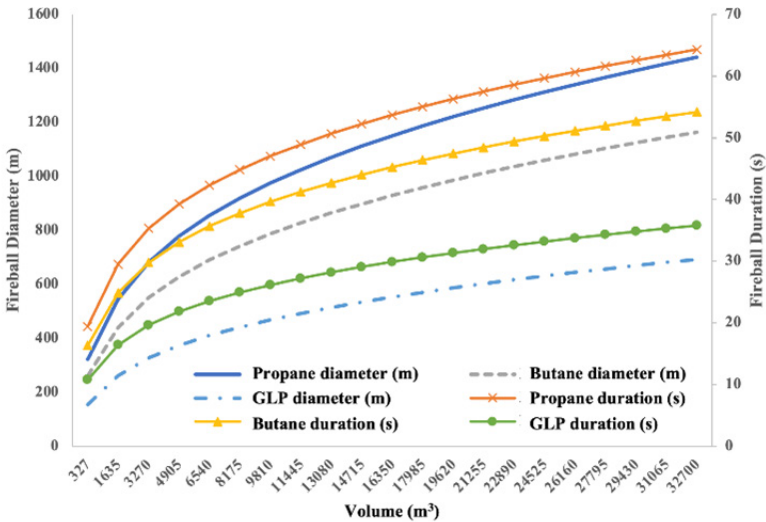


Figure 3. Mass-dependent variables behavior for each substance analyzed in the MGC.

We observed that the greater the mass of propane, the diameter of the fireball, as well as its duration, increases (Figure 3). With the minimum nominal capacity considered for this exercise, equal to 10%, a propane tank can generate a fireball of 323 m, with a duration of 19 seconds. In the opposite scenario, considering its maximum volume of 100%, the radius of the fireball reaches 1441 m, with a duration time of 64 seconds. The same variables are presented for a Butane tank and an LPG sphere. It was obtained for Butane, radius in the range of 261 m to 1164 m with times from 16 to 54 seconds, and for LPG radii from 155 to 693 meters with duration times of 11 to 36 seconds respectively.

Table 1 summarizes the mass-dependent variables in case of a BLEVE explosion event at the MGC, using equations (1), (2), and (3). For calculation and analysis purposes, the worst scenario will be considered, this means, that each container is at 100% of its nominal capacity.

Table 1. Estimation of the effects in case of an explosion by BLEVE in the CGM by product

Container	Net capacity (m ³)	Density Condition Liquid (Kg/m ³)	W Value (kg)	Diameter of fireball (m)	Height of fireball (m)	Duration of fireball (s)
Propane tank	32.700	510	16.677.000	1.441	1.080	64
Butane tank	14.900	580	8.642.000	1.164	873	54
LPG sphere	3.180	550	1.749.000	693	519	36

The following figures illustrate the relationship between the radiation intensity received by an object that is vertical at a certain distance from the center of explosion. Figure 4, shows that the amount of energy generated and therefore radiated increases with the mass available within the container, as mentioned previously.

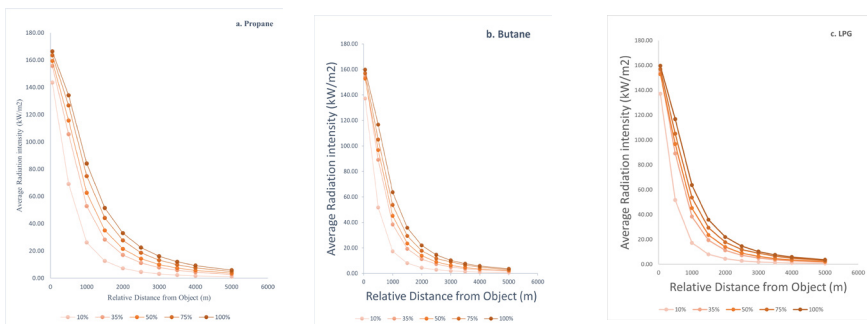


Figure 4. Relationship between the amount of radiation received by a vertical object with the horizontal distance by product of the CGM. a) Propane, b) Butane, c) LPG.

It is fundamental to mention that, when large volumes of a flammable hazardous substance is stored, the possibility that a fraction of the mass available inside the container generating a pool fire increases; therefore, the thermal radiation increases in the immediate intervention zone (Fema *et al.*, 1989). Figure 5, indicates the simulations performed with ALOHA software, showing that the radius of influence is close to those obtained by the empirical equations used so far.

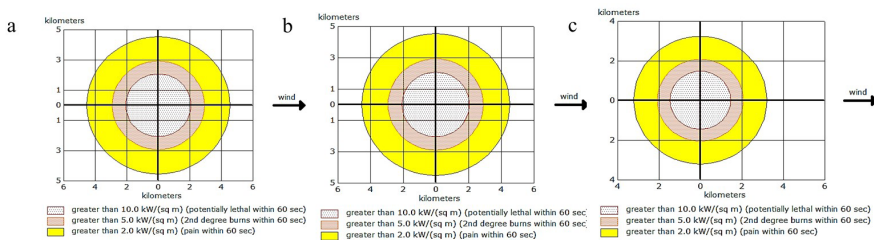


Figure 5. Simulations to obtain influence radius due to an explosion by BLEVE by product in the CGM. a) Propane, b) Butane, c) LPG.

Equations (9), (10), (11) and (12) have been used to assess the vulnerability of the exposed population. The results indicate that in the event of a BLEVE event for propane tanks, people within a 2000 m radius can suffer third degree burns and even death. The radius of secondary influence is estimated at 3,500 m, where second-degree burns are guaranteed and up to 5,000 m a spectator is expected to suffer first-degree burns, depending on the exposure time and even the clothing of the observers, the impact can become imperceptible.

Table 2. Estimation of the vulnerability of people due to a BLEVE accident in the CGM

Content	Horizontal distance (m)	Received irradiation (kW/m ²)	Probit evaluation 1st degree burns	Probit evaluation 2nd degree burns	Probit Evaluation 3rd degree burns	Mortality
Propane	2000	29	14.1 99%	10.8 99%	9.3 99%	7.3 99%
	3500	11	10.4 99%	7.0 98%	6.2 89%	4.1 18%
	5000	6	7.6 99%	4.3 25%	3.9 14%	1.8 0%
Butane	2000	20	12.1 99%	8.8 99%	7.7 99%	5.6 72%
	2700	10	9.2 99%	5.9 84%	5.2 58%	3.1 3%
	4000	7	7.5 99%	3.8 12%	3.6 8%	1.4 0%
GLP	700	30	13 99%	10.2 99%	8.2 99%	7.5 99%
	1000	12	11.5 99%	8.2 99%	7.2 99%	4.2 22%
	2000	7	6.7 96%	3.4 5%	3.1 3%	1.0 0%

With this last evaluation, the radius of influence are estimated by relating the results obtained through the equations presented, the simulations of the ALOHA software and the maximum radiation thresholds proposed in the work performed by WS Atkins Safety & Reliability for the Health and Safety Executive of the United Kingdom. Kingdom, which is based on the Probit method proposed by TNO and suggested as the basis for this analysis (TNO, 1997; Rew, 1997; Prugh, 1994; Prugh, 1991; NTP 293, 2001).

Table 3, lists the results associated with an operating capacity of 100% of the capacity of each tank. After the sudden release of the gases, in the case of propane, a diameter of the fireball of around 2000 m and a duration of 64 s would be obtained. This gives an idea of the extent of an explosion at the CGM without considering chain reactions.

Table 3. Delimitation of areas of influence in the event of an explosion by BLEVE in the CGM

<i>Radius of influence</i>	<i>Irradiation dose received</i> $\left[\frac{\text{kW}^4}{\text{m}^2}\right]$	<i>Propane Radius (m)</i>	<i>Butane Radius (m)</i>	<i>GLP Radius (m)</i>	<i>Probit vulnerability assessed</i>
Red zone	3000	2000	2000	700	Death / 3rd degree burns
Orange zone	2000	3500	2700	1000	2nd degree burns
Yellow Zone	600	5000	4000	2000	1st degree burns

The radius of influence is identified as red zone of greatest influence, with risk of death, than the medium zone of influence or orange zone, with risk of suffering second degree burns and finally, the smallest radius of influence, being the yellow zone. This vulnerability is subject to the characteristics of the clothing of the exposed persons, in addition to the exposure time. Due to the nature of BLEVE explosions, the exposure time is close to the duration of the fireball, which for propane and butane is around a minute and for LPG 34 seconds. The estimation of the radiation received by an exposed person who is within the defined areas of influence, gives us an appreciation of the magnitude of the damage that the appearance of BLEVE can cause in any of the containers that are inside the CGM. Below are the areas of influence represented in satellite images.

In figure 6, it is observed that the population of Monteverde located at ≈ 1200 m from the CGM (measured linearly from the nearest tank), is within the zone of greatest influence that reaches a radius of 2000 m that corresponds to the diameter reached by the fireball. In the case of propane and butane; figures 6 and 7 respectively. The populated area of both communes is shaded, the rest corresponds to land used mainly for agriculture and shrimp farms. Within this

zone the chances of survival are low due to direct contact with fire and oxygen deficiency (Pietersen, 1990). The maps have also indicated the beach area, which is a tourist destination with an unestimated floating population.

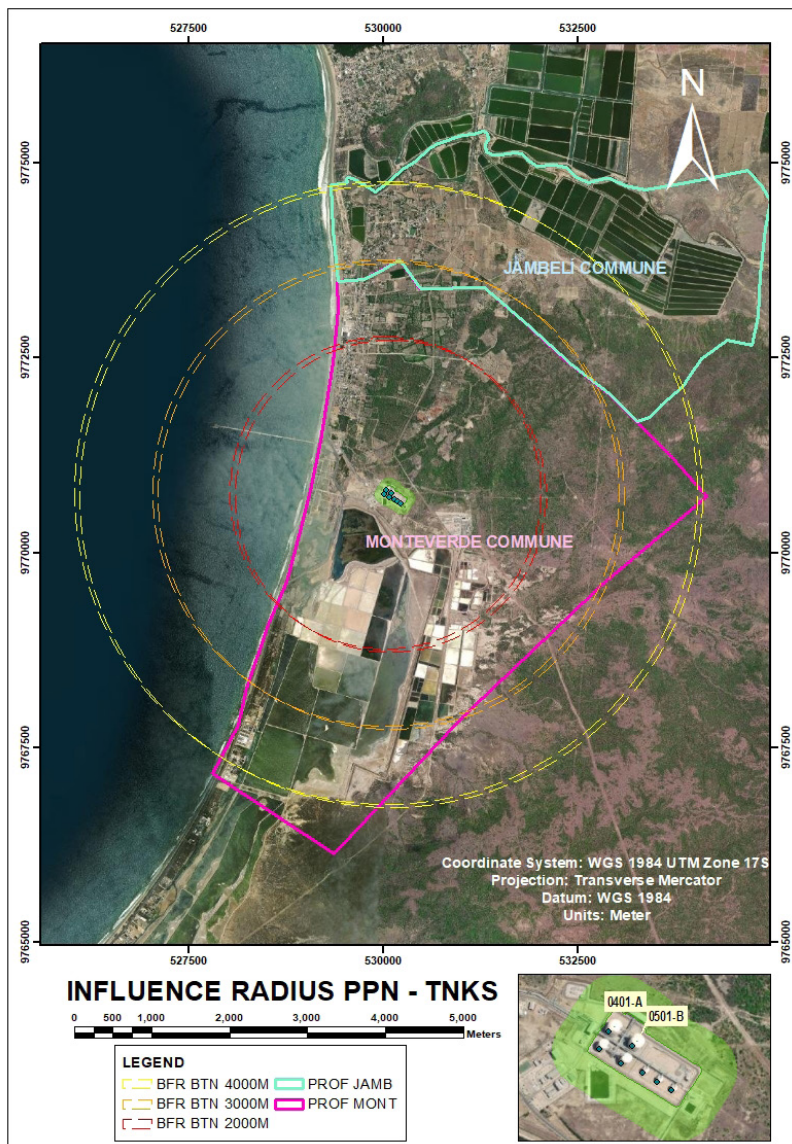


Figure 6. Maximum radius of influence generated by the explosion of one of the CGM propane tanks at 100% of its nominal capacity.

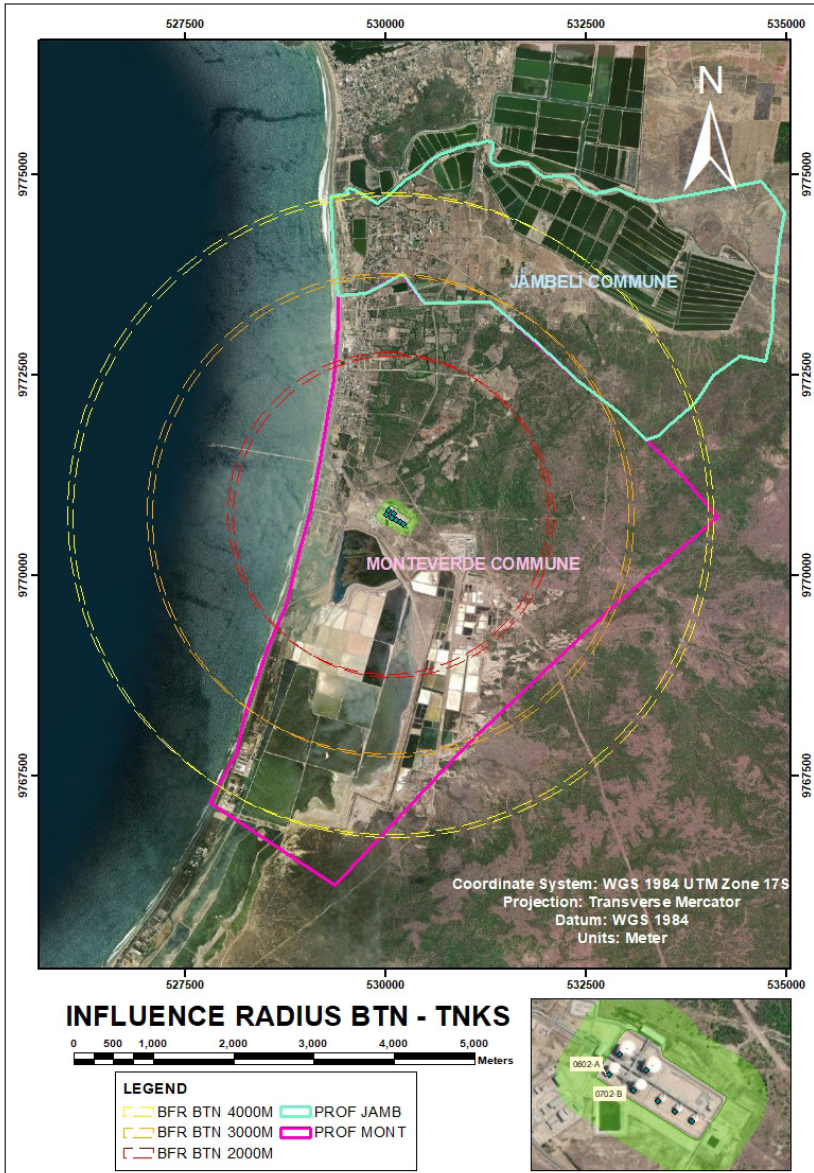


Figure 7. Maximum radius of influence generated by the explosion of one of the CGM butane tanks at 100% of its nominal capacity.

Figure 8, shows the buffers calculated for the three LPG spheres, resulting in the smaller radius of influence reaching 700 meters around the spheres.

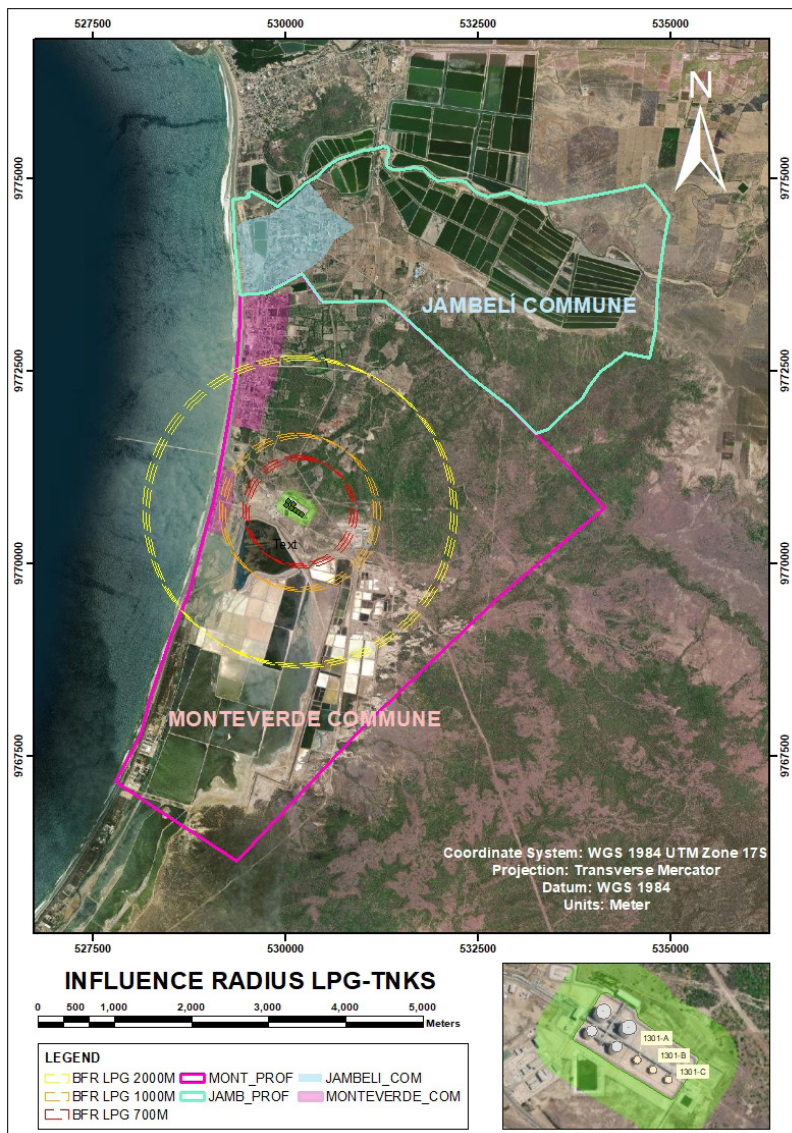


Figure 8. Maximum radius of influence generated by the explosion of one of the LPG tanks of the CGM at 100% of its nominal capacity.

This analysis indicates that in case of a BLEVE explosion, the entire Monteverde community could be affected by the radiation generated. It is important to mention that the calculations presented have been made considering ideal terrain and wind conditions. However, it should be mentioned that there is a small elevation of approximately 21 meters between the MGC and

the community of Monteverde, whose attenuation effects must be estimated in a subsequent analysis.

Due to the large amount of gas that it can store, the CGM becomes a source with a high risk potential. Just to make a comparison, the disaster that occurred at the San Juan de Ixhuatepec terminal in Mexico in 1985 was due to the explosion of a 2,400 m³ capacity sphere, generating a chain reaction to other units with less storage capacity. Inside the station, the explosions reached a radius of seven blocks in all directions and the fragments of the tanks were found up to 1,200 meters away. The heat was such that it even caused the explosion of the domestic gas tanks in the houses of the sector. (López *et al.*, 2012; Pietersen, 1988; Tauseef, 2010). The capacity of the LPG plant in San Juan de Ixhuatepec at the time of the disaster was approximately 11,000 m³, a volume that corresponds to 10% of the nominal storage capacity in the CGM (Pietersen, 1988).

The current operational capacity (as of the year of publication, 2022) of the CGM is around 40% of its nominal capacity, and there are no human settlements around the limits of the CGM. However, experience indicates that illegal housing settlements usually develop after the construction of facilities or industrial complexes, which places the CGM in an ideal situation to establish risk studies and establish policies that safeguard the security of the population.

4. Conclusions

The estimation of the affected radius was performed using several methods, among them the one proposed by TNO, in which the vulnerability of the population exposed to thermal radiation is analyzed. With this it was possible to define that the radius of intervention, or called red zone, is 2,000 m for propane and butane as well as 700 m for LPG. The orange zone, or medium alert, reaches 3,500, 2,700, and 1,000 for propane, butane, and LPG, respectively. And finally, the yellow or low alert zone reaches 5,000, 4,000, 1,500 for propane, butane and LPG, respectively.

The mortality will be 99.9% for the BLEVE explosion of the Propane and Butane tanks within a radius that reaches 2,000 m, directly affecting the Monteverde commune with an estimated population of 1,200 people according to the last population census and housing, under ideal ground conditions and at its maximum operational capacity.

The Probit evaluation method allows estimating the vulnerability to which people from the communities near the CGM are close. It was obtained that in the previously defined red zones there will be 3rd degree burns and death. For the orange zones, it has been estimated that the probability of suffering second degree burns is high, this depends on the exposure time and the type of clothing worn by the inhabitants, since it is a coastal zone, it is estimated at more than 30% of the exposed body surface and light clothing. Finally, in the yellow zones, there is a high probability of suffering first degree burns, again with the clothing conditions previously exposed.

BLEVE explosions are sudden, the CGM has large volumes of flammable substances stored, which can cause the formation of pool fires and increase thermal radiation in the intervention areas close to the point of explosion.

References

- Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2007). The boiling liquid expanding vapour explosion (BLEVE): Mechanism, consequence assessment, management. *Journal of Hazardous Materials*, 141 (3), 489-519. ISSN 0304-3894. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.09.056>.
- Anjana, Amarnath, Chithra, Nair, H., & Jose, S. (2015). Population Vulnerability Assessment around a LPG Storage and Distribution Facility near Cochin using ALOHA And GIS. <https://www.semanticscholar.org/paper/Population-Vulnerability-Assessment-around-a-LPG-Anjana-Amarnath/84190e8a97b7266eb379fdb7244395826c83700d>
- Arturson, G. (1987). The tragedy of San Juanico - the most severe LPG disaster in history. *Burns*, 13 (2), 87-102. ISSN 0305-4179. [https://doi.org/10.1016/0305-4179\(87\)90096-9](https://doi.org/10.1016/0305-4179(87)90096-9).
- Aviles-Campoverde, D., Chunga, K., Ortiz-Hernández, E., Vivas-Espinoza, E., Toulkeridis, T., Morales-Delgado, A. and Delgado-Toala, D. (2021). Seismically induced soil liquefaction and geological conditions in the city of Jama due to the Mw7.8 Pedernales earthquake in 2016, NW Ecuador. *Geosciences*, 11, 20. <https://doi.org/10.3390/geosciences11010020>.
- Dumont, J. F., Santana, E., Vilema, W., Pedoja, K., Ordonez, M., Cruz, M., ... & Zambrano, I. (2005). Morphological and microtectonic analysis of quaternary deformation from puná and santa clara islands, gulf of Guayaquil, Ecuador (South America). *Tectonophysics*, 399 (1-4), 331-350.
- Belloví, M. B., & Sierra, E. T. (2023). *NTP 293: Explosiones BLEVE (I): Evaluación de la radiación térmica*. 10pp. [fromhttps://www.insst.es/documents/94886/326853/ntp_293.pdf/ea4f0605-43a9-4207-b54b-870440eb6206?version=1.0&t=1614698407891](https://www.insst.es/documents/94886/326853/ntp_293.pdf/ea4f0605-43a9-4207-b54b-870440eb6206?version=1.0&t=1614698407891)
- Birk, A. M., Davison, C., & Cunningham, M. (2007). Blast overpressures from medium scale BLEVE tests. *Journal of loss prevention in the process industries*, 20 (3), 194-206. ISSN 0950-4230. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2007.03.001>.
- Birkmann, J. (2007). Risk and vulnerability indicators at different scales: Applicability, usefulness and policy implications. *Environmental hazards*, 7(1), 20-31. ISSN 1747-7891. <https://doi.org/10.1016/j.envhaz.2007.04.002>.
- Botta, N. A. (2015). Dinámicas de las explosiones industriales. *Rosario: Red proteger*. (pp.47-67). ISBN 978-987-27889-9-5. [fromhttps://www.redproteger.com.ar/editorialredproteger/serieexplosiones/30_Dinamica_Explosiones_Industriales_%201a_edicion_Diciembre2015.pdf](https://www.redproteger.com.ar/editorialredproteger/serieexplosiones/30_Dinamica_Explosiones_Industriales_%201a_edicion_Diciembre2015.pdf)
- Burnes, D., & Camou, A. (2019). Impact of fuel composition on gas turbine engine performance. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 141 (10). <http://dx.doi.org/10.1115/1.4044238>
- Cardona, O. D. (2013). The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective: a necessary review and criticism for effective risk management. In *Mapping vulnerability* (pp. 37-51). Routledge.

from https://www.researchgate.net/publication/254267457_The_Need_for_Rethinking_the_Concepts_of_Vulnerability_and_Risk_from_a_Holistic_Perspective_A_Necessary_Review_and_Criticism_for_Effective_Risk_Management1

- Casal, J., Arnaldos, J., Montiel, H., Planas-Cuchi, E., & Vilchez, J. A. (2001). Modelling and understanding BLEVEs. *Handbook of Hazardous Spills*, McGraw Hill, New York, 22. [https://doi.org/10.1016/S0921-9110\(08\)80007-9](https://doi.org/10.1016/S0921-9110(08)80007-9)
- CERESIS. (2022). *Catálogo de terremotos para América del Sur. Datos de hipocentros e intensidades. Ecuador*. <http://www.ceresis.org/informacion-sismologica/catalogo-de-intensidades/ecuador.html>. Last access: 06/02/2023
- Chakrabarty, U. K. (2021). Catastrophic failure of ammonia transport container-A bleve and the toxic effects. *International Journal Of Resilience In Fire Safety & Disasters*, 1 (1), 22-25. <https://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:ijrfsd&volume=1&issue=1&article=005>
- Chen, C., Khakzad, N., & Reniers, G. (2020). Dynamic vulnerability assessment of process plants with respect to vapor cloud explosions. *Reliability Engineering & System Safety*, 200, 106934. ISSN 0951-8320. <https://doi.org/10.1016/j.res.2020.106934>.
- Chunga, K. and Toulkeridis, T. (2014). First evidence of paleo-tsunami deposits of a major historic event in Ecuador. *Science of tsunami hazards*, 33: 55-69. from https://www.researchgate.net/publication/273059853_First_evidence_of_paleo-tsunami_deposits_of_a_major_historic_event_in_Ecuador
- Chunga, K., Mulas, M., Alvarez, A., Galarza, J. and Toulkeridis, T. (2019) Characterization of seismogenic crustal faults in the Gulf of Guayaquil, Ecuador. *Andean Geology*, 46 (1), 66-81. from https://www.researchgate.net/publication/356980548_Evaluation_of_seismic_and_tsunami_resistance_of_potential_shelters_for_vertical_evacuation_in_case_of_a_tsunami_impact_in_manta_and_salinas_central_coast_of_ecuador
- Chunga, K., Ochoa-Cornejo, F., Mulas, M., Toulkeridis, T., & Menéndez, E. (2019). Characterization of seismogenic crustal faults in the Gulf of Guayaquil, Ecuador. *Andean Geology*, 46 (1), 66-81. <http://dx.doi.org/10.5027/andgeoV46n1-2991>
- Chunga, K., Toulkeridis, T., Vera-Grunauer, X., Gutierrez, M., Cahuana, N. And Alvarez, A., 2017. A review of earthquakes and tsunami records and characterization of capable faults on the northwestern coast of Ecuador. *Science of tsunami hazards*, 36, 100-127. from https://www.researchgate.net/publication/320068004_Review_of_earthquakes_and_tsunami_records_and_characterization_of_capable_faults_on_the_northwestern_coast_of_ecuador
- Cutter, S. L. (1991). Fleeing from harm: International trends in evacuations from chemical accidents. *International Journal of Mass Emergencies & Disasters*, 9 (2), 267-285. <https://doi.org/10.4324/9781849771542>
- Cutter, S. L. (2012). Fleeing from harm: International trends in evacuations from chemical accidents. *In Hazards Vulnerability and Environmental Justice* (pp. 51-66). Routledge. ISBN 978-184-97715-4-2.
- De Souza Jr, A. B. (2000). Emergency planning for hazardous industrial areas: a Brazilian case study. *Risk Analysis*, 20(4), 483-494. <https://doi.org/10.1111/0272-4332.204046>

- Dumont, J. F., Santana, E., Vilema, W., Pedoja, K., Ordonez, M., Cruz, M., ... & Zambrano, I. (2005). Morphological and microtectonic analysis of quaternary deformation from puná and santa clara islands, gulf of guayaquil, Ecuador (South America). *Tectonophysics*, 399 (1-4), 331-350.
- Eckhoff, R. K. (2014). Boiling liquid expanding vapour explosions (BLEVEs): A brief review. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 32, 30-43. ISSN 0950-4230. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2014.06.008>.
- Eisenberg, N. A., Linch, C. J., Breeding, R. J. Vulnerability Model: A Simulation System for Assessing Damage Resulting from Marine Spills. (VMI), Report CG-D-137-75 (NTISAD-A01 5 245), U.S. Coast Guard Office of Research and Development, Washington, D.C., 1975. from <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA015245.pdf>
- Fay, J. A. (1980). *Risks of LNG and LPG. Annual review of energy*, 5 (1), 89-105. <https://doi.org/10.1146/annurev.eg.05.110180.000513>.
- Freeman, R. A. (1990). CCPS guidelines for chemical process quantitative risk analysis. *Plant/Operations Progress*, 9 (4), 231-235. ISBN 0-8169-0720-X.
- Grossel, S. S. (1996). Guidelines for evaluating the characteristics of vapour cloud explosions, flash fires and BLEVEs. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 3 (9), 247.
- Hemmatian, B., Planas, E., & Casal, J. (2015). Fire as a primary event of accident domino sequences: the case of BLEVE. *Reliability Engineering & System Safety*, 139, 141-148. ISSN 0951-8320, <https://doi.org/10.1016/j.res.2015.03.021>.
- Huber, M. T. (2009). Energizing historical materialism: Fossil fuels, space and the capitalist mode of production. *Geoforum*, 40 (1), 105-115. ISSN 0016-7185. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2008.08.004>.
- INAMHI. Meteorological Bulletin month: February 2022. http://www.serviciometeorologico.gob.ec/meteorologia/bolhist/cli/2016/MENSUAL/bol_feb_2016.pdf. (Last accessed on 13th, 7, 2022)
- Jetel, V. (2017). Coordination of public infrastructure solution for preventing of accidents. *In MATEC Web of Conferences* (vol. 93, p. 03009). EDP Sciences. from <http://geo1.espe.edu.ec/wp-content/uploads//2017/10/Seg-y-def-2017-num3final.pdf>
- Keddy, C. P. (2012, August). Methodology for Assessing a Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion (BLEVE) Blast Potential. In *Composite Conference 2012* (No. JSC-CN-26873). from <https://ntrs.nasa.gov/citations/20120014185>
- Keltner, N. R., Alvares, N. J., & Grayson, S. J. (1998). Boiling liquid expanding vapor explosions (BLEVE): possible failure mechanisms. *Very Large-Scale Fires*, 1336, 121-137. <https://www.icheme.org/media/10225/xv-paper-10.pdf>
- Klein, J. A., & Vaughen, B. K. (2017). *Process Safety: Key Concepts and Practical Approaches*. CRC Press. ISBN 9780367736170.
- Kumar, P. (2014). A study on BLEVE and its domino effect. *Fire Engineer*, 39 (1), 13-24. <https://core.ac.uk/download/pdf/46606614.pdf>
- Litvinenko, V. (2020). The role of hydrocarbons in the global energy agenda: The focus on liquefied natural gas. *Resources*, 9 (5), 59. <https://doi.org/10.3390/resources9050059>
- López-Molina, A., Vázquez-Román, R., & Díaz-Ovalle, C. (2012). Aprendizajes del Accidente de San Juan Ixhuatpec-México. *Información tecnológica*, 23 (6), 121-128. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642012000600013>

- Makhviladze, G. M., Roberts, J. P., & Yakush, S. E. (1998). Numerical modelling of fireballs from vertical releases of fuel gases. *Combustion science and technology*, 132(1-6), 199-223. <https://doi.org/10.1080/00102209808952015>.
- Malone, Patricio & Fantin, Fernando & Rossello, Eduardo & Miller, Muriel (1999). *Stratigraphic characterization of the Ancón group from the seismic data (Santa Elena Peninsula, Ecuador)*. https://www.researchgate.net/publication/340559104-STRATIGRAPHIC_CHARACTERIZATION_OF_THE_ANCON_GROUP_FROM_THE_SEISMIC_DATA_SANTA_ELENA_PENINSULA_ECUADOR
- Malviya, R. K., Rushaid, M. (2018). *Consequence Analysis of LPG Storage Tank, Materials Today: Proceedings*, 5, (2), Part 1, 4359-4367, ISSN 2214-7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.12.003>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785317329759>)
- Mannan, M. S., West, H. H., Krishna, K., Aldeeb, A. A., Keren, N., Saraf, S. R., ... & Gentile, M. (2005). The legacy of Bhopal: the impact over the last 20 years and future direction. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 18 (4-6), 218-224. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-7555-0.X5081-6>
- Markley, C., Kuster, E., Bunsey, J., & McMahan, N. (2022, June). Natural Gas Liquid Storage Systems—NFPA 58 and Industrywide Best Practices. In 2022 NFPA Conference & Expo. NFPA
- Martins, M. R., Pestana, M. A., Souza, G. F. M. D., & Schleder, A. M. (2016). Quantitative risk analysis of loading and offloading liquefied natural gas (LNG) on a floating storage and regasification unit (FSRU). *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 43, 629-653. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2016.08.001>
- Massonne, H. J., & Toulkeridis, T. (2012). Widespread relics of high-pressure metamorphism confirm major terrane accretion in Ecuador: a new example from the Northern Andes. *International Geology Review*, 54 (1), 67-80. <https://doi.org/10.1080/00206814.2010.498907>
- Mato, F. and Toulkeridis, T., 2018: An unsupervised K-means based clustering method for geophysical post-earthquake diagnosis. *2017 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)*, 1-8. <https://doi.org/10.1109/SSCI.2017.8285216>
- Mejía, N., Mejía, R., & Toulkeridis, T. (2022). Characterization of Blast Wave Parameters in the Detonation Locus and Near Field for Shaped Charges. *Mathematics*, 10 (18), 3261. <https://doi.org/10.3390/math10183261>
- Mindiola Robayo, M. S., & Recalde Mosquera, S. E. (2009). *Análisis de metodologías para la evaluación ambiental de la construcción del terminal marítimo en el sector de Monteverde, Provincia de Santa Elena* (Bachelor's thesis), Santa Elena, Ecuador, 180 pp.
- NFPA 30 (2003). *Código de líquidos inflamables y combustibles*. Edición 2003. <https://docs.google.com/>
- Nicoletti, G., Arcuri, N., Nicoletti, G., & Bruno, R. (2015). A technical and environmental comparison between hydrogen and some fossil fuels. *Energy Conversion and Management*, 89, 205-213. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.09.057>
- NTP 291. (s.f.). Modelos de vulnerabilidad de las personas por accidentes mayores: método Probit Modèles de vulnérabilité pour population en accidents majeurs: méthode Probit Vulnerability models for population in major accidents: Probit method. <https://saludlaboralydiscapacidad.org>

- org/wp-content/uploads/2019/05/NTP-291-Modelos-de-vulnerabilidad-de-las-personas-por-accidentes-mayores-M%C3%A9todo-Probit.pdf
- Ortiz-Hernández, E., Chunga, K., Pastor, J. L. and Toulkeridis, T., (2022). *Assessing susceptibility to soil liquefaction, using the standard penetration test (SPT) – A case study from the city of Portoviejo, coastal Ecuador*. Land, online. <https://doi.org/10.3390/land11040463>.
- Ortiz-Hernández, E., Chunga, K., Toulkeridis, T., and Pastor, J. L. (2022). *Soil liquefaction and other seismic-associated phenomena in the city of Chone during the 2016 earthquake of coastal Ecuador*. Applied Science, online. <https://doi.org/10.3390/app12157867>.
- Pietersen, C. M. (1988). Analysis of the LPG-disaster in Mexico City. *Journal of Hazardous Materials*, 20, 85-107. [https://doi.org/10.1016/0304-3894\(88\)87008-0](https://doi.org/10.1016/0304-3894(88)87008-0).
- Pietersen, C. M. (1990). Consequences of accidental releases of hazardous material. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 3 (1), 136-141. [https://doi.org/10.1016/0950-4230\(90\)90000-C](https://doi.org/10.1016/0950-4230(90)90000-C)
- Pietersen, C. M. (1990). Consequences of accidental releases of hazardous material. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 3 (1), 136-141. [https://doi.org/10.1016/0950-4230\(90\)90000-C](https://doi.org/10.1016/0950-4230(90)90000-C)
- Prugh RW (1991). Quantitative Evaluation of "Bleve" Hazards. *Journal of Fire Protection Engineering*, 3 (1), 9-24. DOI:<https://doi.org/10.1177/104239159100300102>
- Rasbash, D. J. (1980). Review of explosion and fire hazard of liquefied petroleum gas. *Fire safety journal*, 2 (4), 223-236. [https://doi.org/10.1016/0379-7112\(79\)90022-5](https://doi.org/10.1016/0379-7112(79)90022-5)
- Rausand, M. (2013). *Risk assessment: theory, methods, and applications* (Vol. 115). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118281116>
- Rodriguez, F., Cruz D´Howitt, M., Toulkeridis, T., Salazar, R., Ramos Romero, G. E., Recalde Moya, V. A. and Padilla, O. (2016). The economic evaluation and significance of an early relocation versus complete destruction by a potential tsunami of a coastal city in Ecuador. *Science of tsunami hazards*, 35 (1), 18-35. https://www.researchgate.net/publication/287213755_The_economic_evaluation_and_significance_of_an_early_relocation_versus_complete_destruction_by_a_potential_Tsunami_of_a_coastal_city_in_Ecuador.
- Sarvestani, Kazem & Ahmadi, Omran & Jalali Alenjareghi, Morteza (2021). LPG Storage Tank Accidents: Initiating Events, Causes, Scenarios, and Consequences. *Journal of Failure Analysis and Prevention*. 21. 10.1007/s11668-021-01174-y.
- Schmidt, S., Mishra, K. B., & Wehrstedt, K. D. (2016). CFD based reproduction of Amuay refinery accident 2012. *Chem. Eng.*, 48. <https://doi.org/10.3303/CET1648002>
- Segura-Alcívar, M., Rodríguez-Espinoza, F., & Toulkeridis, T. (2019). Potential risk analysis of fuel storages in central Quito, Ecuador. In *Proceedings of the International Conference on Natural Hazards and Infrastructure*. https://www.researchgate.net/publication/351284630_Potential_risk_analysis_of_fuel_storages_in_central_Quito_Ecuador
- Simanjuntak, E., Nugroho, A., & Setiawan, A. (2017). Kombinasi Software Pyrosim Fire Modelling dan Dow's Fire and Explosion Index (DF&EI) untuk Analisa Resiko Kebakaran dan Ledakan pada Lpg Storage Tank (Studi Kasus: PT. Pertamina Refinery Unit V Balikpapan). In *Seminar K3*, 1 (1), 304-307.
- Stern, C. R. (2020). The role of subduction erosion in the generation of Andean and other convergent plate boundary arc magmas, the continental crust and mantle. *Gondwana Research*, 88, 220-249. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2020.08.006>

- Tauseef, S. M., Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2010). Risks of fire and explosion associated with the increasing use of liquefied petroleum gas. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 10 (4), 322-333. <https://doi.org/10.1007/s11668-010-9360-9>
- Tavares, R. A. M. (2011). [*Accidental release of hazardous gases: modelling and assessing risk*. Doctoral dissertation, Universidade de Aveiro], Portugal. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3650.7042>
- TNO (1997). *Methods for the calculation of the physical effects of the escape of dangerous material (Liquids and gases), Parts I and II*. CPR 14E. The Yellow Book, TNO.
- Toulkeridis, T. (2016). The Evaluation of unexpected results of a seismic hazard applied to a modern hydroelectric center in central Ecuador. *Journal of Structural Engineering*, 43 (4), 373-380. https://www.researchgate.net/publication/313308998_The_Evaluation_of_unexpected_results_of_a_seismic_hazard_applied_to_a_modern_Hydroelectric_center_in_central_Ecuador
- Toulkeridis, T., Chunga, K., Rentería, W., Rodríguez, F., Mato, F., Nikolaou, S., Cruz D´Howitt, M., Besenzon, D., Ruiz, H., Parra, H. and Vera-Grunauer, X. (2017). The 7.8 Mw Earthquake and Tsunami of the 16th April 2016 in Ecuador - Seismic evaluation, geological field survey and economic implications. *Science of tsunami hazards*, (36), 197-242. https://www.researchgate.net/publication/327164093_Vulnerability_analysis_based_on_Tsunami_hazards_in_crucita_central_coastal_of_Ecuador
- Toulkeridis, T., Porras, L., Tierra, A., Toulkeridis-Estrella, K., Cisneros, D., Luna, M., Carrión, J. L., Herrera, M., Murillo, A., Perez-Salinas, J. C., Tapia, S., Fuertes, W. and Salazar, R. (2019). A potential early warning system for earthquakes based on two independent real-time precursors – the case of Ecuador´s 7.8 Mw in 2016. Proceedings of the International Conference on Natural Hazards and Infrastructure 2019, 2nd International Conference on Natural Hazards and Infrastructure, ICONHIC 2019; Chania; Greece; 23 June 2019 through 26 June 2019; Code 257429
- Van den Berg, B., & Van Swaaij, W. (2005). <https://repository.tno.nl/islandora/object/uuid%3A4928209c-5998-4261-9393-3d55073e6e87>
- Wang, K., Hu, Q., Qian, X., Li, M., & Shi, T. (2022). Cause analysis and damage mechanism of explosive destruction with case investigation involving LPG tank trailer. *Engineering Failure Analysis*, 133, 106002. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.04.004>
- Winfinder (s.f.). <https://www.windfinder.com/#10/-2.0780/-80.4845/spot>

New steps against scientific gerrymandering: A new operational definition of geographic information science

Nuevos pasos contra el *gerrymandering* científico: una nueva definición operacional de la ciencia de la información geográfica

Carlos López-Vázquez¹

María Ester Gonzalez-Campos²

Miguel Ángel Bernabé-Poveda³

Received April 20, 2023; Accepted June 25, 2023

ABSTRACT

Sometimes there are clear and natural limits to the scope of action of a science, and in other cases they are simply convenient ones. Geographic Information Science (GISc) is a transversal science, with contacts with all geosciences but also with various formal sciences such as Mathematics, Logic and Computer Science. A first approach to specifying the limits of a science is through its definition. Definitions of GISc are often so expansive that they have been rightly criticized for practicing gerrymandering, in particular with the rest of the geosciences. To avoid this, an operational definition is proposed that places GISc among the sciences that handle Data and not Information. This solves the gerrymandering problem without really implying a significant cut of what is usually considered within GISc. As an unforeseen consequence, this delimitation will allow it to be characterized as Formal Science, leaving it as the only geoscience with this characteristic.

Key words: Geographic Information Science, Spatial Data Science, Gerrymandering, Formal Science, DIKW paradigm.

1 Laboratorio LatinGEO IGM+ORT, Facultad de Ingeniería, Universidad ORT, Uruguay, e-mail: carloslopez@uni.ort.edu.uy. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8444-1510>

2 Departamento de Geografía, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía, Universidad de Concepción, Chile, e-mail: mariaesgonzalez@udec.cl. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6312-5757>

3 Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Catamarca, Argentina, e-mail: mbernabe@tecnoc.unca.edu.ar. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4502-3524>

RESUMEN

A veces existen límites claros y naturales del campo de acción de una ciencia, y en otros casos son simples límites de conveniencia. La Ciencia de la Información Geográfica (CIG) es una ciencia transversal, que tiene contactos con todas las geociencias y con diversas ciencias formales como las Matemáticas, la Lógica y la Informática. Una primera aproximación razonable a los límites de una ciencia sería a través de su definición. Sin embargo, las definiciones existentes de CIG a menudo son tan amplias que han sido criticadas con razón por practicar el *gerrymandering*, en particular con el resto de las geociencias. Para evitar el *gerrymandering* se propone una definición operacional que ubica a la CIG entre las ciencias que manejan Datos y no Información. Esto resuelve el problema del *gerrymandering* sin implicar realmente un recorte significativo de lo que normalmente se considera dentro de CIG. Una consecuencia no prevista es que esto permitirá caracterizar a la CIG como Ciencia Formal.

Palabras claves: *Ciencia de la Información Geográfica, Ciencia de Datos Espaciales, Gerrymandering, Paradigma DIKW.*

1. Introduction

The motivation for this work is associated with the need to estimate the academic production capacities of the Latin American region in the GISc area. The issue was addressed by López-Vázquez and Bernabé-Poveda (2020) who, based upon various expert classifications, identified works by authors from the region published in those journals that frequently accept GISc works. Few of these journals can be classified as exclusive to GISc, so a mixture of topics in published works can be expected in them. Therefore, the authors admit that the results obtained would be biased, which justifies the need for a classification at the article level, and not at the journal level. After the question regarding how many GISc articles have authors from the Latin American region? or how many academics in GISc does the region have? the need for rules to identify them immediately arises. And the beginning of everything would be to define what GISc is.

GISc has been recognized as difficult to define or delimit (Couclelis, 2012; Blaschke & Merschdorf, 2014). The mere use of Geographic Information (GI hereinafter) within a paper is not useful, since all the works of any of the geosciences would qualify as GISc. Some initial efforts defined it as the science behind Geographic Information Systems (GIS) (Goodchild, 2009) which opens the door to include in the GISc category any article that uses GIS. Concerned about the risk that lax or expansive definitions may conclude that GISc encompasses several consolidated sciences, Reitsma (2013) introduces the very suitable term “scientific gerrymandering” to illustrate the situation of GISc in relation to other geosciences. The word gerrymandering alludes to the process of arbitrarily moving the boundaries of electoral districts in order to favor or harm certain candidates. There is a clear parallel in a science management context. For

purposes of academic administration, resource allocation, competition for students, etc. for researchers in any area it is important to have a recognized field of action within science as a whole (Blaschke *et al.*, 2014). In some cases, the limit is clear: all living organisms are studied by Biology, and all celestial objects by Astronomy. In other cases, the boundaries are not so sharp. The traditional sciences have built their own sphere over time, an advantage that emerging sciences do not have, especially when they have a significant overlap with the preexisting ones. And GISc is one of these cases.

According to Mark (2000), from its inception GISc reexamined fundamental issues in geography, cartography and geodesy, incorporated developments in cognitive and information sciences and sometimes stepped on the same space as statistics, mathematics, psychology or computer science. The objective of this work is to suggest a way to delimit a scope for GISc with enough interest but without including significant portions of other already established sciences (and in particular, other geosciences).

The rest of the article is organized in the following way. After this Introduction, a background of the GISc and Geomatics definitions will be presented. Next, the DIKW paradigm will be described. It will be key in our proposal because it distinguishes between Data and Information concepts. Some formal aspects that we consider are already present in GISc will be discussed, and the proposed placement of GISc among the formal sciences will be presented. The proposed GISc definition will be offered, followed by a Discussion. Finally, the Conclusions, Acknowledgments and References will be presented.

2. GISc definitions

At the beginning of the 90s the name of GISc had already been handled informally. It was first presented in a keynote speech (Goodchild, 1990) paradoxically using a different title (Spatial Information Science). After some adjustments, that presentation was published in Goodchild (1992) in what is considered the official birth of the denomination (Blaschke *et al.*, 2014). In this work, the author did not present a formal definition, but rather grouped the activities that he considered to be of interest to GISc into eight blocks: Data collection and measurement; Data capture; Spatial statistics; Data modeling and theories of spatial data; Data structures, algorithms and processes; Display; Analytical tools; and Institutional, managerial, and ethical issues. Notice the repeated presence of the word Data, and the lack of mention of Information. In his proposal Goodchild admitted that the list was incomplete. Due to the context of the time, the connections to GIS weighed heavily on the text. The term "Geographic Information System" has its roots in the Canadian Geographic Information System of the 1960s (Tomlinson, 1984). This term and this technology were already well established in the 90s with a high degree of acceptance by the scientific community. For this reason, it is very justifiable that the science that was wanted to characterize remained close to this denomination. Confirming this relationship, Mark (2000) maintains:

Geographic Information Science (GIScience) is the basic research field that seeks to redefine geographic concepts and their use in the context of GIS. GIScience also examines the impacts of GIS on individuals and society, and the influences of society on GIS. GIScience reexamines some of the most fundamental themes in traditional spatially oriented fields such as geography, cartography, and geodesy, while incorporating more recent developments in cognitive and information science. It also overlaps with and draws from more specialized research fields such as computer science, statistics, mathematics, and psychology, and contributes to progress in those fields.

Notice the close relationship with GIS, the recognition of overlaps with other already established sciences, and the expansiveness of the delimitation. We emphasize that the first three bullets clearly refer to Data, not Information. As in the case of Goodchild [8] this does not really constitute the definition of a science. As a way out of the problem Mark (2003) proposes to consider GISc as a specialization of Information Science. Based on a definition attributed to Shuman (1992) and adding the word “geographic” before “information”, he proposed:

GISc is very difficult to define...the field of GISc, however, may be defined as one that investigates the properties and behavior of geographic information, how it is transferred from one mind to another, and optimal means for making that transfer, in both natural and artificial systems. Finally, GISc is concerned with the effects of information on people and on machines.

This proposal was not echoed in the literature. In the same work, Mark (2003) proposes a new list of areas of interest, comparing his proposal against those of Goodchild (1992) and those alluded to in the application to the NSF. Later on, this list will be compared against the proposed definition that will be presented in this work.

Difficulties finding a consensus definition persisted. In this sense, Goodchild (2009) recognizes it again and chooses to affirm that “... *GISc is the science behind GIS ...*”, calling GISc the scientific knowledge on which GIS is based. He states that GISc can also be defined as the set of fundamental questions raised by technology or critical problems that arise when technology is employed. These would include precision and uncertainty, scale, and methods used to capture the infinite complexity of the real world in binary digits. This close relationship with the software system that is at the origin of the denomination will be analyzed again later.

For our purposes (identifying which articles are and which are not about GISc) it is necessary that the definition offers easy-to-interpret criteria. This characteristic is shown, for example, in the definition offered by ISO for the closely related field of Geomatics: “Geomatics: (ref: ISO/TC211/WG1 N119)” *“Geomatics*

¹ <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:tr:19122:ed-1:v1:en>

is defined in the ISO/TC 211 series of standards as the discipline concerned with the collection, distribution, storage, analysis, processing, presentation of geographic data or geographic information".

Notice here that "geographic data" is synonymous with or equivalent to "geographic information". For our purposes it will be seen that it is important to make a distinction between them, so their differences will be analyzed below using the DIKW paradigm as a reference.

3. The DIKW paradigm

The problem addressed in this work is to establish a boundary for GISc, either natural or just convenient, to avoid scientific gerrymandering to other sciences. To do this, the DIKW (Data-Information-Knowledge-Wisdom) paradigm is used.

Elaborating ideas taken from Ackoff (1989), Rowley (2007) affirms that data leads to information that in turn leads to knowledge and this leads to wisdom, thus accepting that the four concepts (data, information, knowledge and wisdom) are different and for this reason a science that claims to study data must have differences from a science that claims to focus on information.

Etymologically GISc is the science that deals with geographic information (GI), which is its object of study par excellence. There are authors who in the same field of action speak of "*spatial data*" (Spatial Data Science, Spatial Data Infrastructures, etc.) instead of GI, emphasizing the word data and omitting the adjective "*geographic*" in favor of "*spatial*" which would be something more general. But the important thing here is in the existing nuance between data and information.

Following Scheider *et al.*, (2020), in our proposal real world information will be considered by empirical sciences (such as Demography, Biology, Geology, etc.) defined as opposed to formal sciences (such as Mathematics, Computer Science, Logic or Linguistics) that do not require experimental validation. Couclelis (2016) argues the same, trying to separate Information Sciences from empirical sciences. For our case in particular, it can be said that the data that GISc manages and presents are intended to finally serve empirical sciences. Such sciences will build information from the data in order to generate their specific knowledge, a process that in our proposal would not be convenient to consider within GISc.

As proposed by Reitsma (2013), GISc shares with other formal sciences the fact of not studying the real physical world, which is studied inductively and abductively by other sciences such as Edaphology, Climatology, Hydrology, etc. These sciences often model the physical world in great detail, but each from a different point of view. In our proposal, GISc studies the internal properties of geographic data which can be used later by any of the geosciences. Couclelis (2016) said: "*...we are not doing Hydrology, Forestry or Urban Studies but trying to help answer questions posed by hydrologists, foresters, planners, and any others, in the most appropriate and helpful ways.*"

Therefore, the investigations and discoveries of GISc can be applied by all the sciences that use geographic data. To clarify the above statement that GISc does not have to do with the real world but only with the internal properties of the data, we can put some well-known examples such as the arithmetic mean, which is a non existing concept in the real world but which is applied by all the sciences that use quantities. We are also talking about imaginary numbers that do not exist in the real world but are essential to describe both electromagnetism and relativity and to explain the behavior of quantum matter. In our proposal, GISc would address everything that can be done or obtained from generic geographic data. Its results take the form of algorithms, rules for viewing, organization techniques, indexing schemes, internal structures, and other theoretical and technological solutions. The assertion that GISc would not deal with the real world but with data that represents some part of its reality leads us to imagine GISc as a formal science like those already mentioned. As such, it has its own areas of research and would fulfill the role of supporting other empirical sciences that operate based on spatial data. It is proposed that once the data have been processed by GISc, it is admitted that the GI will be produced later by the corresponding empirical science, certainly with the assistance of GISc but only as support in the basic science part of the process. With this approach you could establish a convenient frontier for GISc, and the problem of scientific gerrymandering would be solved. By proposing to separate GISc from Information, it moves it away from empirical sciences and brings it closer to formal sciences, which is an unexpected consequence that should be analyzed.

4. The Character of Formal Science

Reitsma (2013) has already considered the question whether or not GISc is a science. Here we will go a step further, and see if it can be described as a formal science. Høyrup (2003) acutely points out *"...In any proper sense, a 'formal science' is a science which does not positively tell us anything about the world..."*. Any science that ignores the Information and limits itself to the Data would meet this characteristic. Without contradicting it, Franklin (1994) argues that formal sciences could potentially generate knowledge that is demonstrable (in a mathematical sense) but still applicable to the real world. When asked about what is a formal science? Löwe (2002) proposes to consider two possible responses that are not equivalent. One of them characterizes the formal sciences by using the deductive analysis of formal systems, which are independent of human influence. The second says that formal sciences are aimed at understanding systems without an empirical component. Not having an empirical component implies that the validity of its conclusions does not result from or are supported by experimental data but simply supported by reasoning. The author put Mathematics, Theoretical Philosophy, Informatics and Formal Linguistics as examples, while we might add Statistics and Logic, without thereby closing the list.

4.1. Formal characteristics found in GISc

The approach we propose to test here is not to demonstrate that GISc is a formal science, but to show that it shares many characteristics with other already recognized sciences as such. With this we aspire to establish a conjecture, which future works could demonstrate. To support our point of view, essential characteristics of formal sciences that can be identified in GISc will be illustrated, prioritizing references published in journals from the GISc area. They include the following:

GISc has formal languages, which cover parts of its field of activity. As examples, we can cite Kuhn and Ballatore (2015) with a proposal partially implemented in Python; Loose Programming (Kruiger *et al.*, 2020); Map Algebra with its variants (Cordeiro *et al.*, 2009); Map Calculus (Haklay, 20024); various Query languages like Geo-SAL (Svensson & Huang, 1991), MADS (Parent *et al.*, 2006), GeoPQL (D'Ulizia, 2012) and the one due to Wang *et al.* (2019), among others.

GISc has symbol alphabets, which are manipulated by the different algebras. For example, in a GIS the alphabet is made up of all the acceptable names for a coverage. But in addition to this basic example there are other more refined ones. For example, the FlexTrack system (Moussalli *et al.*, 2015) uses an alphabet to define regions of interest (schools, airports, neighborhoods...) within a coverage in order to support queries based on spatio-temporal location.

GISc has formal Grammars or Syntax, offering rules for joining symbols. As an example, the languages of GIS can be cited, or at some more abstract level of formalization of spatial relationships and connectivity (Liu *et al.*, 2018), modeling of natural bodies (Rongier *et al.*, 2017), identification of shapes (Li *et al.*, 2019), consistency verification in 3D models (Nikoohemat *et al.*, 2021), and the classics on image syntax (Dondis, 1973), among others.

GISc has several sets of Axioms, such as those that appear in the context of Ontologies (Torres *et al.*, 2011) but also in the language formulation itself (Kuhn & Ballatore, 2015). There is a sustained effort to elaborate geo-ontologies to describe geographic entities and their relationships (Agarwal, 2005), to make viable a theory of spatial representation (Tambassi, 2017), to support the formulation of consistency restrictions in geographic databases (Frank, 2001), among others.

GISc has a set of transformation or inference rules that allow conclusions to be drawn. For example, Wang *et al.* (2019) establishes topological relationships between regions and their intersections.

With the above, it has been illustrated that the conjecture that GISc is a formal science is well founded, although it is not our intention to demonstrate it.

4.2. GISc connection with other formal sciences

The examples that emerge in the previous items frequently connect GISc with Informatics, but there are also strong connections with other sciences previously accepted as formal. For example, the entire field of Spatial Statistics can be

correctly interpreted as a branch of Statistics, but it can also be pointed out that the motivation and many of the advances made there are justified, described and published in geoscience journals such as *Mathematical Geology*. The relationship with Mathematics is also close. Everything related to remote sensor image processing (or other data in raster format such as DEM) has a significant overlap with Signal Processing. The Interpolation problem is relatively lateral in Mathematics itself but it is central and very popular in GISc (Fisher, 2007; Lees, 2016).

To further highlight the difference between data and information, you can imagine the following situation. Suppose that arsenic contamination is being studied in a region, and point data is supplied. They are first incorporated into a GIS, and afterwards some standardized process are applied. Anomalous data controls are carried out, interpolated algorithms selected and finally

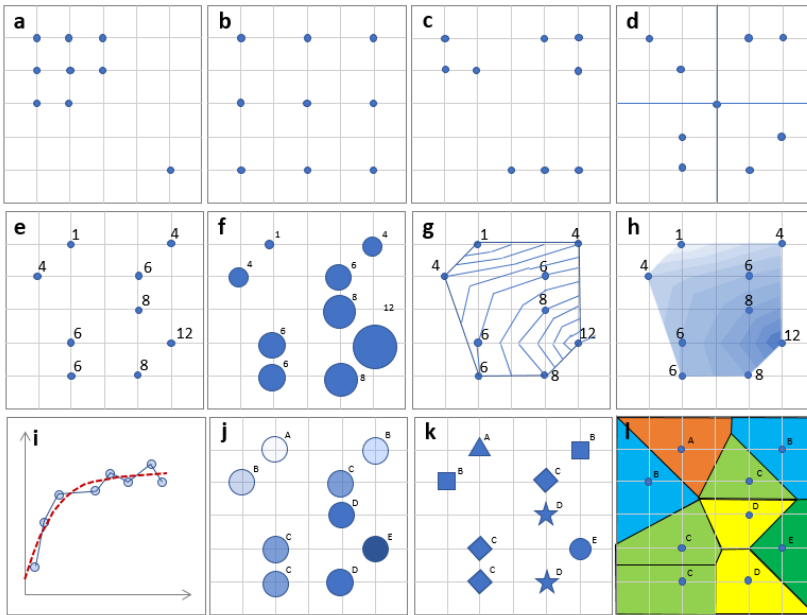


Figure 1. Internal information of the data without knowing its field of application: (a-d) spatial location provides us with information regardless of what they represent. (e-h) shows the same numerical values (continuous or discrete) with different representations. The set is susceptible to a geostatistical treatment (i), represented by different color tones (j) on a Likert scale, or simply different symbols (k). Also the field could be represented with a Voronoi diagram (l). Neither to carry out the different representations nor to elaborate a geostatistical study is it necessary to know what magnitude is being represented. Own elaboration.

maps are generated with the spatial distribution of the pollutant. After finishing the study, the units were found to be wrong: they were assumed to be $\mu\text{g/L}$ and actually they were mg/L (a factor of 1000). The information produced changes drastically, since what were originally acceptable levels became acute contamination. However, all processing described above with the data was immune to this change, except for the legend on the maps produced.

Regardless of the field to which the data belong, to present them visually there are invariants (Gibson, 1950) and perceptual properties (Bertin, 1973) to be considered that do not depend on what information are involved. These general rules say, among others, that large is more important than small, dark more than light, qualitative variation is associated with tone, ordered variation with lightness and quantitative with size. Bertin's graphic semiology (1973), the perceptual properties of visual variables, visual constancies and contrasts (Monasse & Guichard, 2000), the principles of Gestalt (Wertheimer, 1938), with which to show results on maps (Wallace *et al.*, 1998) show us universal expressive characteristics regardless of whether what the data represents are real objects or mental concepts. The same occurs with its application to a visual language based on patterns (morphological elements as words, shapes and images; syntax based on basic morphemes; semantics dealing with the meaning of composite visual language elements and pragmatics dealing with different communication problems in different contexts) (Flieder & Mödritscher, 2006). There is therefore a formal component outside the real (in the information sense) that we use in the GISc to show results.

To construct the representations of Figure 1 it is not necessary to have the information itself, but it is enough to know the numerical values of the data plus just some characteristics or properties (like continuity).

5. GISc: what's behind GIS

It can be admitted that practically all the operations and processing that is done in GISc do not require an intimate knowledge or interpretation of the data itself, but that the tools and methods included are general enough to be applicable to a variety of cases just knowing that they are spatial data (Anselin, 2020).

Another argument that supports the suggestion that GISc is a non-experimental science and that its processing is within the data domain is the following. It has been claimed (Goodchild, 2009) that GISc is the science behind a GIS. A GIS is a software system capable of manipulating geographic data. But the system exists even if there is no data, and in fact it is sold without it. As a system, it includes algorithms, procedures, knowledge, etc. which are prior to the system being loaded with data, and of course, to producing information. Therefore, it is easy to argue that all the science behind that system is also preexisting to the data that will later feed it. This makes software and the science behind it independent of the domain of application, a characteristic that Laplante (1990) points out that formal science possesses and that Reitsma (Reitsma, 2013) also admits.

6. Location of the GISc in the pyramid of knowledge

Returning to the DIKW paradigm, it is important to locate the different phases and relative location of the science that is being mentioned. Figure 2 illustrates three levels of the scheme. The raw data sources are located in the base, illustrated with the name of various organizations that capture data of a general type or data of a spatial type. The formal sciences, including GISc, receive this data and perform different actions with it (see left of the pyramid). A variety of techniques are used to do this, some of which are listed in Figure 2 (see to the right of the pyramid). With the data already manipulated and presented appropriately, the empirical sciences make the transition from structured data to information, which in higher stages will be important to generate knowledge. This is in line with what Naur (1974) says, proposing limits for what is now called Data Science.

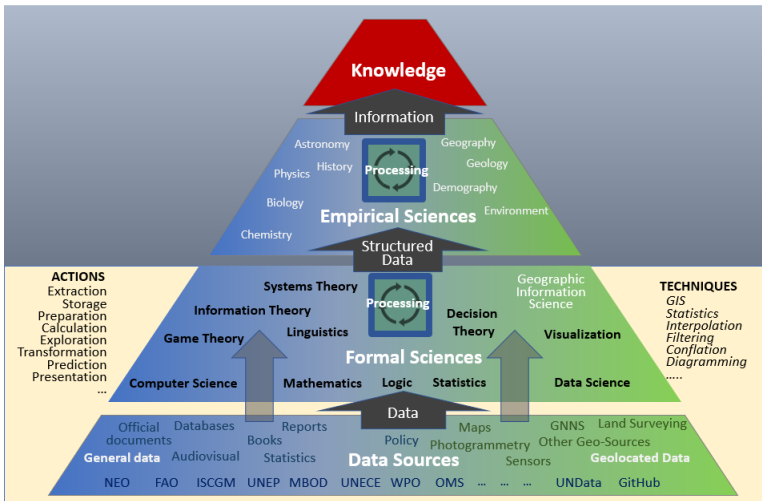


Figure 2. DIKW Pyramid indicating the location of the raw data, the relationship between Formal and Empirical Sciences, and finally Knowledge. Own elaboration.

As we have already said, in our proposal GISc should be located within the space reserved to the formal sciences. However, if we pay attention to etymology, it should be located elsewhere, creating and managing information together with the other empirical sciences. And this lack of clarity in its location is what creates the environment for gerrymandering that Reitsma (2013) and us are so concerned about. In our approach, GISc would process the data until just before it is interpreted. This interpretation is the task of the empirical sciences, which in doing so transform data into information.

It should be noted that Reitsma (2013) concludes the article with a statement that may be key to our idea: *“In contrast to most other sciences, GIScientists do not study the world, rather the representations of that world. GISc considers*

how these representations, how geographic information, are formed, collected, managed, analyzed and visualized. As such, GISc cannot exist independently from the other sciences. It exists in symbiosis with other disciplines, such as geography and psychology, which guide data collection and other information needs". The fact of speaking of symbiosis makes it difficult or impossible to distinguish GISc from the other sciences, while it could be done by limiting itself to handling data. The reason is that, in the description that the author presents, the term Information is handled as if it were interchangeable with Data, which contradicts the DIKW paradigm.

7. The proposed GISc definition

As indicated at the beginning of this work, the goal of this paper is to have an operational definition, in the style of the one used by ISO for the term Geomatics, in order to be able to elucidate when a work is about GISc and when it is not. The proximity between Geomatics and GISc is assumed in part of the literature related to geography, so we can start from that definition. Spatial data infrastructures, privacy, social and administrative implications of geographic data, etc. are good examples of what is missing in the available formal definition of Geomatics, while we believe that they should be included in that of GISc. For this reason, a definition will be proposed that takes elements of the proposal by ISO for Geomatics and extends it in a way that covers what we feel is missing.

Definition of Geographic Information Science: *"Geographic Information Science is a formal science that studies the methods to capture, store, analyze, model, represent, exchange and manage N-dimensional spatial data"*.



Figure 3. Illustration of the different main actions involved in GISc definition and some examples of the particular ones. Own elaboration.

It should be noted that (aside from the name itself) this proposal does not include neither the word information nor the word geographic, but rather it has been preferred to speak of spatial data. Figure 3 provides some more details.

This style of operational definition has already been tried for Information Science. For example, in line with Mark's (2003) idea of considering GISc as a specialization of Information Science, the definition of the latter attributed to Stock and Stock (2013) could be used, incorporating the term "geographic" after each mention of "information" leaving a definition that is also quite specific: "...GISc is an academic field which is primarily concerned with analysis, collection, classification, manipulation, storage, retrieval, movement, dissemination, and protection of geographic information..."

The definition that has been proposed reserves to GISc a set of activity areas, which can be compared with the proposals made by other authors. Specifically, Mark (2003) compared at the time the list proposed by Goodchild (1992) and by the UCGIS delegates meeting in 1996 (Research Priorities for Geographic Information Science University Consortium for Geographic Information Science, 1996) with his own proposal, and in Table 1 we will extend the comparison against the definition presented.

Table 1. Comparison between the topics usually considered for GISc and those included in the proposed definition

<i>Goodchild (1992)</i>	<i>UCGIS (1996)</i>	<i>Mark (2003)</i>	<i>This paper</i>	
	X	X	X	Ontology of the geographic domain
X	X	X	X	Formal representation of geographic phenomena
		X	X	Qualitative spatial reasoning
X		X	X	Computational geometry
X		X	X	Efficient indexing, retrieval, and search in geographic databases
X		X	X	Spatial statistics
		X	X	Other geocomputation topics
	X	X	X	Cognitive Models of Geographic Phenomena
		X	X	Human interaction with geographic information and technology
X	X	X	X	Acquisition of geographic data
	X	X	X	Quality of geographic information
X	X	X	X	Spatial analysis
X	X	X	X	Geographic information, institutions, and society
		X	X	Time
		X	X	Scale

<i>Goodchild (1992)</i>	<i>UCGIS (1996)</i>	<i>Mark (2003)</i>	<i>This paper</i>	
	X		X	Distributed computing
	X		X	Interoperability of geographic information
	X		X	Spatial data infrastructure
	X		X	Geospatial data mining and knowledge discovery

Fuente: Own elaboration based on Mark (2003).

8. Discussion: why this definition

- Operational definition.** A broad and flexible definition can be useful to illustrate a topic and generate a concept, but it presents difficulties when applying it, since different individuals equipped with the same definition and faced with the obligation to discern whether or not something is from GISc will have too much margin for interpretation. For our purposes we prefer a more operational definition, which provides concrete clues to discern whether something is within the GISc topic or not. Admittedly, any delimitation of the scope of GISc will certainly generate complaints from those who feel affected, and that will be a price to pay.
- Information from data.** Using the word "data" within the definition (where the information is obtained just after processing) is nothing more than recognizing that there are GISc processes applicable when there is data with spatial coordinates, whether or not they are from sensitive space.
- Avoid gerrymandering.** The use of the word information is at the heart of criticism of GISc for gerrymandering. All geosciences use geographic information and the scope of GISc must be limited so that it does not unnecessarily invade other neighboring spaces. For this reason, it is proposed that GISc is a formal science, which processes data and obtains theoretical results without the need for application to the real world. When that application is made, it is already in the domain of empirical sciences, thus becoming information.
- Formal Science.** In this sense GISc, would be the only formal science within geosciences, which would explain very well the markedly multidisciplinary character that is already recognized. Our idea of GISc is that it deals exclusively with actions on spatial data carried out with formal tools without being interested in which domain science data belongs to or where they will be applied later. The results (finding hidden patterns, cleaning outliers, estimating ranges, etc.) will be later collected by empirical sciences to apply them in their own fields of interest.
- Determination of job titles and skills.** The GISc name has been around for quite some time, and it boasts undeniable popularity. Despite this, a satisfactory, non-expansive definition has not been achieved that avoids the

risk of gerrymandering. The organization of teaching activities and the name of the degrees to be awarded require knowledge of the content taught. If an expansive definition is used in any of these actions, which explicitly or implicitly includes other already traditional geosciences, a resistance (or worse, misunderstanding) is generated among those affected, a fact which is clearly inconvenient. Even ISO found the need to offer a concise definition of Geomatics, a word with the advantage of being similar in several languages (French, English, German, Spanish, ...) which in addition is also present in the name of many institutions and academic degrees.

9. Conclusions

The precise and operational definition of GISc is a need that has been raised almost since the introduction of the term in 1992. One of the difficulties encountered was the lack of a delimitation of the scope of this science, which (according to Reitsma, 2013) in many cases will perform gerrymandering with other geosciences. Lacking an operational definition is inconvenient for several reasons. Here it is proposed that (for convenience) GISc should limit itself to manipulate Data and not Information, both concepts as defined in the DIKW paradigm. By separating GISc from contact with reality, its formal science character clearly emerges, such as Mathematics, Statistics or Computer Science has. We propose as a conjecture that the already familiar GISc is a formal science. Although there are also no fully established definitions of what a formal science is and what is not, it is possible to list a set of aspects that these sciences as well as GISc have, a fact which partly supports this conjecture. An operational definition related in style and structure to the ISO definition of Geomatics has been proposed that provides more objective criteria for deciding if some work is about GISc or not.

Funding: This research and APC were funded by IDEAIS Project-CYTED: Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, under Grant 519RT0579

References

- Ackoff, R. L. (1989). From data to wisdom. *Journal of Applied Systems Analysis*, 16, 3–9.
- Agarwal, P. (2005). Ontological considerations in GIScience. *International Journal of Geographical Information Science*, 19 (5), 501–536.
<https://doi.org/10.1080/13658810500032321>
- Anselin, L. (2020). Spatial Data Science. In Richardson, D., Castree, N., Goodchild, M.F., Kobayashi, A., Liu, W., Marston, R. A. (Eds.), *International Encyclopedia of Geography* ; 1st ed. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118786352.wbieg2015>
- Bertin, J. (1973). *Sémiologie graphique: Les diagrammes, les réseaux, les cartes*. Gauthier-Villars Mouton & Cie.

- Blaschke, T., Merschdorf, H. (2014). Geographic information science as a multidisciplinary and multiparadigmatic field. *Cartography and Geographic Information Science*, 41, 3, 196-213. <https://doi.org/10.1080/15230406.2014.905755>
- Cordeiro, J. P., Câmara, G., Moura de Freitas, U., Almeida, F. (2009). Yet Another Map Algebra. *Geoinformatica*, 13 (2), 183-202. <https://doi.org/10.1007/s10707-008-0045-4>
- Couclelis, H. (2016). The Encyclopedia Gallica of Events - or Why Geographic Information Science Is Not Like Physics. *International Conference on GIScience Short Paper Proceedings*, 1 (1). <https://doi.org/10.21433/B31118t7k513>
- Couclelis, H. (2012). Climbing on a Milestone for a Better View: Goodchild's 'Geographical Information Science' Paper as Vantage Point and Ground for Reflection. *International Journal of Geographical Information Science*, 26 (12), 2291-2300. <https://doi.org/10.1080/13658816.2012.713959>
- de Laplante, K. (1999) Certainty and Domain-Independence in the Sciences of Complexity: A Critique of James Franklin's Account of Formal Science. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 30 (4), 699-720.
- Dondis, D. A. (1973). *A primer of visual literacy*. Cambridge, Mass: MIT Press.
- D'Ulizia, A., Ferri, F., Grifoni, P. (2012). Moving GeoPQL: a pictorial language towards spatio-temporal queries. *Geoinformatica*, 16 (2), 357-389. <https://doi.org/10.1007/s10707-011-0135-6>
- Flieder, K., Mödritscher, F. (2006). Foundations of a pattern language based on Gestalt principles. In: CHI '06 extended abstracts on Human factors in computing systems-CHI EA '06. Presented at the CHI '06 extended abstracts, Montreal, Quebec, Canada: ACM Press, 773. <https://doi.org/10.1145/1125451.1125605>
- Frank, A. U. (2001). Tiers of ontology and consistency constraints in geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Science*, 15 (7), 667-678. <https://doi.org/10.1080/13658810110061144>
- Franklin, J. (1994). The formal sciences discover the philosophers' stone. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 25 (4), 513-533. [https://doi.org/10.1016/0039-3681\(94\)90045-0](https://doi.org/10.1016/0039-3681(94)90045-0)
- Fisher, P. (2007). Valediction. *International Journal of Geographical Information Science*, 21 (10), 1165-1170. <https://doi.org/10.1080/13658810701678005>
- Gibson, J. J. (1950). *The Perception of the Visual World*. Boston: Houghton Mifflin Company.
- Goodchild, M. F. (2009). Geographic information systems and science: today and tomorrow. *Annals of GIS*, 15 (1), 3-9. <https://doi.org/10.1080/19475680903250715>
- Goodchild, M. F. (1990). Keynote address: spatial information science. *Proceedings, Fourth International Symposium on Spatial Data Handling*, 1, 13-14.
- Goodchild, M. F. (1992). Geographical information science. *International Journal of Geographical Information Systems*, 6 (1), 31-45. <https://doi.org/10.1080/02693799208901893>
- Haklay, M. (2004). Map Calculus in GIS: a proposal and demonstration. *International Journal of Geographical Information Science*, 18 (2), 107-125. <https://doi.org/10.1080/13658810310001629583>
- Høyrup, J. (2003). Bronze Age formal science? With additional remarks on the historiography of distant mathematics. Foundations of the Formal Sciences IV The History of the Concept of the Formal Sciences. Bonn, February 14-17.

- Kuhn, W., & Ballatore, A. (2015). Designing a Language for Spatial Computing. In F. Bacao, M. Y. Santos, & M. Painho (Eds.), *AGILE 2015* (309-326). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16787-9_18
- Kruiger, J. F., Kasalica, V., Meerlo, R., Lamprecht, A., Nyamsuren, E., Scheider, S. (2020). Loose programming of GIS workflows with geo-analytical concepts. *Transactions in GIS*, 1-26. <https://doi.org/10.1111/tgis.12692>
- Lees, B. G. (2016). Valediction. *International Journal of Geographical Information Science*, 30 (12), 2529–2532. <https://doi.org/10.1080/13658816.2016.1197928>
- Li, A.-B., Ying C., Guo-Nian L., A-Xing Z. (2019). Automatic detection of geological folds using attributed relational graphs and formal grammar. *Computers & Geosciences*, 127, 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2019.03.006>
- Liu, Y., Zhang, K., Kong, J., Zou, Y., Zeng, X. (2018) Spatial specification and reasoning using grammars: from theory to application. *Spatial Cognition & Computation*, 18 (4), 315–340. <https://doi.org/10.1080/13875868.2018.1490290>
- López-Vázquez, C., Bernabé-Poveda, M. Á. (2020). La situación de la producción científica latinoamericana en el área de la Ciencia de Información Geográfica. *Revista Cartográfica*, (100), 173-193. <https://doi.org/10.35424/rcarto.i100.641>
- Löwe, B. (2002). The Formal Sciences: Their Scope, Their Foundations, and Their Unity. *Synthese*, 133 (1-2), 5–11. <https://doi.org/10.1023/A:1020887832028>
- Mark, D. M. (2000). Geographic Information Science: Critical Issues in an Emerging Cross-Disciplinary Research Domain. *Journal of the Urban and Regional Information Systems Association*, 12 (1), 45-54.
- Mark, D. M. (2003). *Geographic Information Science: Defining the Field*. In: M. Worboys, M. Duckham, and M. Goodchild (Eds.), *Foundations of Geographic Information Science*. CRC Press., 3-18. <https://doi.org/10.1201/9780203009543.ch1>.
- Monasse, P., Guichard, F. (2000). Fast computation of a contrast-invariant image representation. *IEEE Transactions on Image Processing*, 9 (5), 860–872. <https://doi.org/10.1109/83.841532>
- Moussalli, R., Absalyamov, I., Vieira, M. R., Najjar, W., Tsotras, V. J. (2015). High performance FPGA and GPU complex pattern matching over spatio-temporal streams. *Geoinformatica*, 19 (2), 405-434. <https://doi.org/10.1007/s10707-014-0217-3>
- Naur, P. (1974). *Concise survey of computer methods*. New York: Petrocilli Books.
- Nikoohemat, S., Diakité, A., Lehtola, V., Zlatanova, S., Vosselman, G. (2021). Consistency grammar for 3D indoor model checking. *Transactions in GIS*, 25 (1), 189-2012. <https://doi.org/10.1111/tgis.12686>
- Parent, C., Spaccapietra, S., Zimányi, E. (2006). *Conceptual Modeling for Traditional and Spatio-Temporal Applications: The MADS Ap-proach*. Berlin, Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/3-540-30326-X_5
- Reitsma, F. (2013). Revisiting the ‘Is GIScience a science?’ debate (or quite possibly scientific gerrymandering). *International Journal of Geographical Information Science*, 27 (2), 211-221. <https://doi.org/10.1080/13658816.2012.674529>
- Rongier, G., Collon, P., Renard, P. (2017). Stochastic simulation of channelized sedimentary bodies using a constrained L-system. *Computers & Geosciences*, 105, 158-168. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2017.05.006>
- Rowley, J. (2007). The wisdom hierarchy: representations of the DIKW hierarchy. *Journal of Information Science*, 33(2), 163-180. <https://doi.org/10.1177/0165551506070706>
- Shuman, B.A. (1992). *Foundations and issues in library and information science*. Englewood, Colo: Libraries Unlimited.

- ISO/TR 19122:2004 (en). Geographic information / Geomatics — Qualification and certification of personnel [online].
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:tr:19122:ed-1:v1:en>
- Scheider, S., Nyamsuren, E., Kruiger, H., Xu, H. (2020) Why geographic data science is not a science. *Geography Compass*, 14 (11). <https://doi.org/10.1111/gec3.12537>
- Stock, W. G.; Stock, M. (2013). *Handbook of information science*. Walter de Gruyter.
- Svensson, P., Huang, Z. (1991). Geo-SAL: A query language for spatial data analysis. In O. Günther and H.-J. Schek (Eds.), *Advances in Spatial Databases*, 119–140.
https://doi.org/10.1007/3-540-54414-3_35
- Tambassi, T. A. (2017). Geographical Taxonomy for Geo-ontologies. *Axiomathes*, 27 (4), 355-374. <https://doi.org/10.1007/s10516-016-9309-z>
- Tomlinson, R. F. (1984). Geographic information systems—a new frontier. *The Operational Geographer*, 5, 31-35.
- Torres, M., Quintero, R., Moreno-Ibarra, M., Menchaca-Mendez, R. Guzman, G. (2011). GEONTO-MET: an approach to conceptualizing the geographic domain. *International Journal of Geographical Information Science*, 25 (10), 1633-1657. <https://doi.org/10.1080/13658816.2010.539183>
- University Consortium for Geographic Information Science Research Priorities for Geographic Information Science. *Cartography and Geographic Information Systems* (1996), 23 (3), 115-127, <https://doi.org/10.1559/152304096782438855>
- Wallace, D.S., West, S. W. C., Ware, A. (1998). Dansereau, D. F. The Effect of Knowledge Maps That Incorporate Gestalt Principles on Learning. *The Journal of Experimental Education*, 67 (1), 5-16.
- Wang, Y., Siriaraya, P., Sakata, H., Kawai, Y., Tajima, K. (2019). Designing a Query Language Using Keyword Pairs for Spatial and Temporal Search. In Kawai, Y., Storandt, S., Sumiya K. (Eds.), *Web and Wireless Geographical Information Systems*, 118-135. https://doi.org/10.1007/978-3-030-17246-6_10
- Wang, Z., Wu, Z., Qu, H., Wang, X. (2019). Boolean matrix operators for computing binary topological relations between complex regions. *International Journal of Geographical Information Science*, 33 (1), 99-133. <https://doi.org/10.1080/13658816.2018.1527917>
- Wertheimer, M. (1938). Laws of organization in perceptual forms. In Ellis, W., (Ed.), *A source book of Gestalt psychology*, 71-88.

RESEÑAS



Piazzini Suárez, C. E. y Montoya Arango, V. (Eds.) (2022), *Cartografías, mapas y contramapas*, Medellín, Universidad de Antioquia, Fondo Editorial FCSH, Facultad de Ciencias Sociales y Humanas, 310 pp. ISBN (impresa): 978-628-7519-69-5

ISBN (versión e-Book): 978-628-7519-70-1

<https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/29685>

César Andrés Ospina Mesa¹

Las prácticas cartográficas se han hecho más prolíficas y diversas alrededor del mundo. Hoy existen experiencias de mapeo muy interesantes que se han trasladado a la virtualidad, entre otras cosas, producto de la reciente pandemia. Incluso las técnicas y temáticas son cada vez más amplias. Esta expansión de la actividad cartográfica da cuenta de lo que Jeremy Crampton (2010) denominó hace unos años la “democratización de la cartografía”, al ser apropiada por no expertos en la disciplina cartográfica, quienes la han reinventado y dinamizado en otros espacios e intereses. A su vez, las reflexiones y enfoques teóricos sobre la cartografía se han visto enriquecidos por nuevas miradas y debates sustentados en aquellas apropiaciones sociales de la herramienta, gracias a una explosión social del mapa como recurso para dar cuenta de diversos acontecimientos que tienen al espacio o al territorio como eje de reflexión, análisis e intervención.

Diversos procesos colectivos en el mundo han visto en los mapas y contramapas formas de investigación socioespacial que buscan identificar, examinar y desestabilizar producciones violentas sobre el espacio, cuestionando la dimensión espacial del sentido común, y comprendiendo que los mapas han funcionado como artefactos políticos que contribuyen a reforzar un orden hegemónico (Ojeda, 2020, p. 168). La historia de estos procesos cartográficos se enmarca en la constante tensión con fuerzas estatales y corporativas, donde las luchas colectivas se asientan en prácticas y saberes que por generaciones les han permitido vivir y sobrevivir en regiones marginalizadas, con presencia de agentes y procesos extractivistas y de violencia.

El libro editado por los profesores Piazzini y Montoya (2022) sitúa la producción cartográfica de algunos colectivos e investigadores de América Latina

¹ Instituto de Estudios Regionales y Grupo de Investigación Estudios del Territorio, Universidad de Antioquia, Colombia, correo electrónico: cesara.ospina@udea.edu.co.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5879-1509>

y España en el marco de la cartografía crítica, categoría que viene apropiándose para comprender de manera más amplia las disputas territoriales, cartográficas y epistémicas en el sur global. Los artículos compilados en el libro hacen énfasis en el lugar de los mapas y contramapas desde una perspectiva histórica y contemporánea, actualizando las discusiones sobre las relaciones de éstos con el conocimiento y el poder.

Los estudios sobre cartografías en la región han cobrado relevancia en los diferentes campos de las Ciencias Sociales y Humanas, no solamente por la influencia que las categorías espaciales han generado en los mismos, sino por la prolífica producción y uso de cartografías en proyectos de investigación e intervención social, desarrollados por entidades académicas, organizaciones y colectivos sociales, entidades internacionales y dependencias del Estado, en conjunto con las comunidades de base en la mayoría de los casos.

En su introducción al texto, los editores hacen un contundente llamado a pensar las cartografías y los mapas como configuraciones espaciales particulares, que entran en relación con otras como el territorio, pero también cómo los mapas pueden ser considerados agentes no humanos que se conectan con otros actores en la producción del espacio. Estos dos asuntos bien pueden considerarse como el hilo conductor del libro en los distintos aportes de quienes participan en la publicación.

La co-producción de cartografías y el análisis crítico del poder de los mapas en la historia cartográfica de América Latina y Europa, son trabajadas en el libro en dos secciones específicas: historicidad de los mapas y cartografías sociales. El primer apartado da cuenta de las formas en que los espacios fueron producidos en un momento histórico específico, pero preguntando por el presente de las configuraciones espaciales que los mapas ayudaron a construir. Ello se refleja en las contribuciones sobre la voluntad de imperio europea del siglo XX, en la producción cartográfica sobre Panamá y Colombia entre los siglos XIX y XX, en las tensiones por el lugar del municipio de Belén de Bajirá en los mapas de Antioquia y Chocó, y en la producción de geografías del hambre en el departamento de La Guajira, Colombia.

En el segundo apartado, el libro explora las apuestas políticas, socio-culturales y de memoria de investigadores y líderes sociales que hacen uso de la cartografía social en la defensa y el derecho a los territorios. En este apartado la propuesta de análisis cartográfico se sitúa con mayor fuerza en la reflexión sobre las formas de conocimiento que la cartografía social puede hacer emerger y movilizar. Categorías como "cartografías otras", "cartografía crítica" o "contramapeamiento", sirven como herramientas conceptuales para comprender las prácticas cartográficas alrededor de los conflictos socio-ambientales, el ordenamiento territorial, el derecho al territorio, el arte y el reconocimiento de grupos sociales, pueblos tradicionales o minorías étnicas organizadas y con perspectivas políticas de larga data. En este apartado sobresale una apuesta intelectual por dar mayor contenido conceptual y epistemológico a la cartografía social, que usualmente ha sido pensada como herramienta metodológica de investigación o intervención.

Estas dos tendencias del análisis y producción cartográfica que se reflejan en las dos secciones del libro, ratifican dos escenarios importantes de los estudios sobre las cartografías, mapas y contramapas, que han hecho carrera desde algunas décadas atrás. El lector podrá encontrar allí diversos problemas socioespaciales en los que la cartografía constituye una grilla de análisis pertinente y enriquecedora. De cierta manera, se ratifica la importancia de las prácticas cartográficas críticas y políticas en un mundo donde humanos y no humanos establecemos relaciones en un medio controlado por procesos cartográficos, ya instalados en nuestras vidas por medio de los dispositivos tecnológicos, pero que como muestran algunas de las reflexiones en el libro, podemos subvertir, reflexionar o aprovecharlas en escenarios más creativos y propositivos de las luchas epistémicas y sociales.

La emergencia de prácticas cartográficas en América Latina durante las últimas décadas, permite dar cuenta de una transformación espacial, política, cultural y social donde el mapa y la cartografía ha sido producida o utilizada por distintos colectivos de la región. Al decir que los mapas son autónomos y que son configuraciones espaciales al mismo nivel de otras como el territorio, la diversidad epistémica que habita en las prácticas cartográficas, se ve enriquecida de un objeto que la expresa y la transforma. Hacer el mapa es parte de esa performatividad epistémica, que no es otra cosa que la materialización de las luchas por la justicia social y cognitiva. El llamado de Piazzini y Montoya (2022) a deconstruir la cartografía, debe proponer la construcción de nuevos escenarios hermenéuticos donde las ontologías seguras de los mapas puedan ser cuestionadas y subvertidas.

Bibliografía

- Crampton, J. W. (2010). *Mapping: A Critical Introduction to Cartography and GIS*. Oxford: John Wiley & Sons. ISBN: 978-1-405-12172-9
- Ojeda, D. (2020). Contracartografías: métodos en investigación socioespacial crítica. In C. A. López Jiménez (Ed.), *Investigar a la interperie: reflexiones sobre métodos en las ciencias sociales desde el oficio* (pp. 167–183). Bogotá: Editorial Pontificia Universidad Javeriana. ISBN 978-958-781-559-7

Flipo, N., Labadie, P., & Lestel, L. (Eds.) (2021). *The Seine River Basin*, vol. 90. Springer International Publishing.

<https://doi.org/10.1007/978-3-030-54260-3>

Sonia Yanira Güiza González¹

La serie de libros dedicada a la química ambiental, publicados por Springer con acceso gratuito, con el objetivo el difundir estudios ambientales acerca de los cambios, impactos y riesgos que generan las actividades realizadas por las poblaciones que habitan un territorio delimitado, por un parámetro geográfico como el de una cuenca.

El libro sirve de referencia para la caracterización cartográfica y ambiental de otras cuencas hidrográficas, debido al importante número de urbes que fueron construidas, pobladas, desforestadas e impactadas por las actividades humanas desarrolladas cerca a sus afluentes.

Uno de estos libros corresponde al titulado, y traducido al español como *La Cuenca del río Sena* en Francia, con una red de drenajes que cubre un área de 76.238 km², en la que habitan 17 millones de personas y coexisten el desarrollo de la ciudad de París y su productividad agrícola.

El mapa de la red hidrográfica, señala el recorrido que realizan cada uno de los drenajes (quebradas y ríos) desde su cabecera a desembocadura, interconectados del sistema intrínseco de la cuenca hídrica, hacen parte de los resultados alcanzados durante el proceso cartográfico, con escalas espacio temporales desde muy detalladas (hora/metro) a regionales (anual/varias docenas de kilómetros).

Presenta los resultados logrados por el programa PIREN-Sena, con el inicio de sus actividades en 1.989 e integrado por un gran grupo multidisciplinario de investigadores: hidrólogos, químicos ambientales, ecologistas, bioquímicos, geógrafos e historiadores ambientalistas.

Se destaca la colección y preservación de los mapas históricos realizados desde la centuria XVIII de la cuenca del río Sena. Además, presentan diversos mapas de análisis espacial respecto a la precipitación de lluvias e infiltración anual y escorrentías, entre otros parámetros tomados en las estaciones permanentes de medidas hidrológicas en la cuenca.

A partir de la información compilada y generada, se describen las complejas interacciones, que ocurren entre los componentes de sus subsistemas. Algunos

¹ Universidad Nacional de Colombia, correo electrónico: syguizag@unal.edu.co
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7248-1670>

de estos son: el hidro-sistema (superficie hídrica y los acuíferos), el ecosistema (fitoplancton, bacterias y grupos de peces), el sistema agronómico (cultivos y suelos), los usos tomados del río (agua para beber, navegación) y desarrollo urbano e industrial (plantas de tratamiento del agua).

Las temáticas abordadas en el libro, siguen dos de los enfoques que marcan diferencias metodológicas. El primero, la cartografía, comprende las etapas de identificación del archivo, extracción del documento, criterio de selección, digitalización, integración a un sistema de información geográfica. Mientras que el segundo, la química ambiental cuyo proceso cumple los siguientes procesos: muestreo con fundamento espacial y georeferenciado, análisis de laboratorio y estadística e interpretación de los resultados.

Como productos de la cartografía se encuentran la estimación de flujos transportados desde las cabeceras de los ríos hasta su desembocadura en la zona costera. Además de la compilación y análisis espacial de amplios periodos (50 a 200 años) de los socio-ecosistemas del Sena, utilizando archivos para modelamiento retro y prospectivo. Se resaltan los registros de las modificaciones geomorfológicas progresivas como consecuencia de las obras de canalización y represamientos, conectados a los trabajos calificados como el legado histórico cultural con un valor patrimonial de las obras realizadas.

La química ambiental, se focaliza en los parámetros enumerados a conti-nuación: Identificación y cuantificación de fuentes y transferencias de una amplia variedad de elementos y contaminantes (nutrientes, carbono, metales, trazas. Compuestos orgánicos persistentes (conocida como POPs —*Persistent Organic Pollutants*, por sus siglas en inglés), fármacos, pesticidas, micro-plásticos, etc. Contaminaciones microbiológicas, una de las causas es el vertimiento de excrementos. Análisis del impacto de la calidad del agua y contaminaciones en biota.

Definición de la Revista

La *Revista Cartográfica* se publica desde 1952, es una publicación de la Comisión de Cartografía del Instituto Panamericano de Geografía e Historia un Organismo Especializado de los Estados Americanos (OEA).

El objetivo de la Revista es contribuir a la difusión del conocimiento en las áreas de cartografía, geodesia e información geográfica en general; promoviendo un enfoque que contribuya a compartir investigaciones, estudios y publicaciones en las áreas de conocimiento que son de interés para la revista.

La Revista publica artículos científicos (investigación, revisión y temáticos) y reseñas en los cuatro idiomas oficiales del IPGH (español, inglés, francés y portugués). Los artículos que se propongan para su publicación deberán ser originales y no estar publicados o propuestos para tal fin en otra revista.

Desde 2016 tiene una periodicidad semestral (enero-junio / julio-diciembre). La recepción de artículos está abierta permanentemente.

Proceso de evaluación por pares

En atención a las buenas prácticas editoriales la *Revista Cartográfica* los artículos que cumplan los requisitos formales y de calidad serán evaluados por pares académicos externos a la institución editora. Se aplicará el sistema de evaluación "doble ciego".

Secciones

Artículos:

- Artículo de investigación: documentos que presentan resultados de nuevas investigaciones, u otras contribuciones originales que sean de aporte a las ciencias y disciplinas de interés para la Revista.
- Artículo de revisión: documentos que analicen, sistematicen e integren resultados de material ya publicado sobre un área del conocimiento, con el objeto de divulgar los avances y las tendencias de desarrollo en dicha área. Requiere una cuidadosa y rigurosa revisión bibliográfica del tema, un artículo de revisión no debería considerar menos de 60 referencias directas e indirectas. Solo para áreas de conocimiento de desarrollo muy reciente se consideran artículos de revisión con un número menor de referencias.
- Artículos temáticos: documentos que respondan a una convocatoria de la Revista para conformar un número temático coordinado por un destacado especialista como editor invitado.

Reseñas:

Documentos que presentan un análisis crítico de libros u otras monografías que sean significativa para las ciencias y disciplinas de interés de la revista, que

hayan sido publicados en los últimos tres años y que cuenten con ISBN. De forma excepcional se aceptarán reseñas de libros no actuales, clásicos, que sean significativos o de referencia para análisis y estudios actuales.

Norma para autores

Los artículos y reseñas se enviarán únicamente en formato digital a través de este enlace <https://www.revistasipgh.org/index.php/rcar>. Por lo tanto, es necesario que el autor este registrado de forma correcta y que disponga de usuario y contraseña.

Los archivos de texto se enviarán en formato Word, utilizando las plantillas correspondientes para que cada tipo de documento aceptado por la Revista.

Para asegurar la evaluación ciega del artículo, el archivo debe enviarse sin datos ni metadatos que permitan la identificación del autor. No se debe incluir nombre, afiliación, correo electrónico u organismo financiador en el documento. Estos datos se recogen de manera separada en la plataforma OJS, cuando se ingresan los metadatos del envío. Se solicita completar obligatoriamente los siguientes campos del formulario correspondiente a Autoría y colaboradores/as: Nombre/s y Apellido/s, contacto (e-mail), país, identificador ORCID y afiliación institucional.

Los documentos que no cumplan los requisitos de anonimato serán retirados del proceso de evaluación.

La revisión de los artículos incluye el uso de software antiplagio Ithenticate.

Los **Artículos** deberán tener una extensión máxima de 25 páginas, incluyendo figuras, tablas y bibliografía.

Las figuras y tablas deberán ubicarse dentro del texto. Las figuras se deben enviar por separado en formato JPG o PNG, con una resolución mínima de 300 dpi/ppp (o superior de acuerdo con el tamaño de la figura) sin compresión y a color. Para la impresión del número de la Revista se modificarán a escala de grises, siempre que no afecte la correcta comunicación de la información, en particular los mapas.

Las citas y referencias bibliográficas se harán según las Normas APA. Se recomienda el uso de gestores de referencias bibliográficas, como Zotero o Mendeley. Se debe incluir enlace DOI o enlace web en todos los casos que sea posible.

Las **reseñas** tendrán una extensión máxima de 8.000 caracteres con espacios incluidos.

Más información:

www.revistasipgh.org/index.php/rcar/Directrices

Evaluación de pares:

<https://www.revistasipgh.org/index.php/rcar/EvaluacionPares>

Dra. María Ester Gonzalez
Editora
Departamento de Geografía, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía
Universidad de Concepción
Victoria 486-490, CP 4030000, Concepción, Chile
Correos electrónicos:
editor_revista_cartografica@ipgh.org | maria.ester.gonzalez@ipgh.org |
mariaesgonzalez@udec.cl

No se devolverá el material enviado.

Función editorial del Instituto Panamericano de Geografía e Historia

El IPGH publica seis revistas, impresas y distribuidas desde México. Estas son: *Revista Cartográfica*, *Revista Geográfica*, *Revista Geofísica*, *Revista de Historia de América*, *Antropología Americana* y *Revista de Arqueología Americana*.

Se invita a todos los investigadores y profesionales de las áreas de interés del IPGH: cartografía, geografía, historia, geofísica y ciencias afines, a que presenten trabajos de investigación para que sean publicados en nuestras revistas científicas.

Si requiere mayor información, favor de comunicarse a:

Departamento de Comunicación Social
Secretaría General del IPGH
Ex-Arzobispado 29, Colonia Observatorio, 11860 Ciudad de México, México
Tels.: (+52-55) 5277-5888 | 5515-1910
Correo electrónico: publicaciones@ipgh.org

Edición del
Instituto Panamericano de Geografía e Historia
realizada en su Departamento de Comunicación Social
Ex Arzobispado núm. 29, Col. Observatorio
11860, Ciudad de México, México
Tels.: 5277-5791 / 5277-5888 / 5515-1910
publicaciones@ipgh.org
2023

**ESTADOS MIEMBROS
DEL
INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFÍA E HISTORIA**

Argentina

Belice

Bolivia

Brasil

Chile

Colombia

Costa Rica

Ecuador

El Salvador

**Estados
Unidos
de América**

Guatemala

Haití

Honduras

México

Nicaragua

Panamá

Paraguay

Perú

**República
Dominicana**

Uruguay

Venezuela

EL IPGH, SUS FUNCIONES Y SU ORGANIZACIÓN

El Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) fue fundado el 7 de febrero 1928 por resolución aprobada en la Sexta Conferencia Internacional Americana que se llevó a efecto en La Habana, Cuba. En 1930, el Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos construyó para el uso del IPGH, el edificio de la calle Ex Arzobispado 29, Tacubaya, en la Ciudad de México.

En 1949, se firmó un convenio entre el Instituto y el Consejo de la Organización de los Estados Americanos y se constituyó en el primer organismo especializado de ella.

El *Estatuto Orgánico* del IPGH cita en su Capítulo II, artículo 2, su Misión:

1. Fomentar, coordinar y difundir los estudios pertenecientes a sus áreas de interés, las cuales son Cartografía, Geografía, Historia, Geofísica y las ciencias afines en beneficio de América;
2. Apoyar la iniciativa, innovación y generación de conocimiento en sus áreas de interés, a través de estudios, capacitaciones y trabajos de sus Comisiones;
3. Promover la cooperación interdisciplinaria entre los institutos de América y organizaciones internacionales afines.

Solamente los Estados Americanos pueden ser miembros del IPGH. Existe también la categoría de Observador Permanente, actualmente se encuentran bajo esta condición: España, Francia, Israel, Jamaica y República de Corea.

El IPGH se compone de los siguientes órganos panamericanos:

1. Asamblea General;
2. Autoridades;
3. Secretaría General; y
4. Comisiones.

Además, cada Estado Miembro designa y crea oficialmente una Sección Nacional, órgano establecido para el cumplimiento de la misión, visión y estrategia científica del IPGH en el ámbito nacional, contando para ello con el apoyo financiero de su gobierno.



Estudo das mudanças na linha de costa e vulnerabilidade costeira associada no litoral sul do Rio de Janeiro (SE Brasil) *Breylla Campos Carvalho y Josefa Varela Guerra* • Clasificación de la amenaza por incendios forestales en campamentos del Anfiteatro de Valparaíso *Víctor Nelson Elgueta Gutiérrez* • Patrones espacio-temporales asociados a características del sedimento respecto a la disponibilidad de áreas de anidación para tres especies de tortugas el Amazonas colombiano *Valentina Franco-Arciniegas y Javier Díaz-Perdomo* • Potential Threat Assessment and Degree of Exposure in the event of an Explosion by Sudden Expansion of Boiling Liquid Vapor in the LPG Ground Storage Terminal in Monteverde, coastal Ecuador *Adriana Gabriela, Morales Delgado, Kervin Arturo Chunga Morán y Theofilos Toulkeridis* • New steps against scientific gerrymandering: A new operational definition of geographic information science *Carlos López-Vázquez, María Ester Gonzalez-Campos y Miguel Ángel Bernabé-Poveda* • Cartografías, mapas y contramapas *César Andrés Ospina Mesa* • The Seine River Basin *Sonia Yanira Güiza González*

ISSN 2663-3981